

Resolução de problemas abertos no ensino de física: uma revisão da literatura

Ill-structured problem solving in Physics Education: a literature review

Vagner Oliveira^{*1}, Ives Solano Araujo², Eliane Angela Veit²

¹Instituto Federal Sul-rio-grandense, Pelotas, RS, Brasil

²Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Recebido em 15 de Novembro de 2016. Revisado em 6 de Janeiro de 2017. Aceito em 9 de Janeiro de 2017

Apresenta-se neste trabalho uma revisão da literatura em resolução de problemas abertos no Ensino de Física, contendo um panorama da produção acadêmica nos últimos 20 anos, assim como os referenciais teóricos e metodológicos adotados no ensino e na pesquisa relativa a problemas abertos no Ensino de Física. Foram consultados os principais periódicos nacionais e internacionais, resultando em 47 artigos, que foram divididos em três categorias para análise: Pesquisa (n=27), Propostas com Aplicação (n=9) e Apresentação de Propostas (n=11). Quanto às metodologias de pesquisa, predominam as quantitativas (n=9), com equilíbrio entre os delineamentos pré-experimental, experimental e quase-experimental, e os métodos mistos, no qual a maioria dos artigos (n=6) apresenta delineamento de pesquisa Integrado. Identificamos uma tendência das metodologias de ensino estarem intensamente fundamentadas em tentativa e erro, uma vez que, em geral, não são utilizados embasamentos em teorias de aprendizagem, que norteariam as práticas profissionais. Quanto aos referenciais teóricos de problemas abertos, prevalecem as concepções de Jonassen.

Palavras-chave: resolução de problemas, problemas abertos, Ensino de Física.

It is presented in this paper a literature review of ill-structured problem-solving on physics education, containing an overview of the academic production in the last 20 years, as well the theoretical and methodological frameworks adopted in teaching and research on ill-structured problems on physics education. The main national and international journals were consulted, resulting in 47 articles, which were divided into three categories for analysis: Research (n=27), Proposals Application (n=9) and Proposals (n=11). Regarding the research methodologies, predominantly quantitative (n = 9), with a balance between pre-experimental, experimental and quasi-experimental designs, and mixed methods, in which most of the articles (n = 6) presents research design Integrated. We identified a trend of teaching methods are solely based on trial and error, since, in general, are not used emplacements in learning theories, which orientate the professional practices. As for the theoretical framework of ill-structured problems, prevailing conceptions of Jonassen.

Keywords: problem-solving, ill-structured problems, physics education.

1. Introdução

Os profissionais mais valorizados nas mais diversas áreas costumam ser aqueles capacitados a propor solução para problemas abertos. Médicos capazes de fazer diagnósticos de doenças difíceis de serem identificadas, políticos capazes de controlar conflitos locais e internacionais, engenheiros capazes de elab-

orar projetos com uso de novos materiais e novas tecnologias para preservar os recursos naturais, são alguns exemplos.

Problemas abertos, por definição, não possuem soluções pré-estabelecidas; apresentam estado inicial só parcialmente conhecido; referem-se a um evento do mundo real, com resultados consistentes com a realidade e exigem que os alunos façam julgamentos e elaborem argumentação para defender suas soluções

*Endereço de correspondência: vagnerjpn@yahoo.com.br.

[1-5]. Geralmente, para resolver um problema dessa natureza é preciso fazer uso de idealizações, estimativas, aproximações, lançar hipóteses, testar a solução, monitorar e regular os procedimentos metodológicos e as próprias atividades cognitivas durante a tentativa de resolução do problema.

No ensino de Física e, em geral, no ensino de Ciências e Matemática, diversos são os autores que defendem, com diferentes argumentos, atividades didáticas de resolução de problemas (abertos). Por exemplo, para Clement e Terrazzan [6] tais atividades são fundamentais para a promoção da aprendizagem dos alunos, mostrando-se produtivas para o tratamento de vários conteúdos de Física (conceitos, princípios e modelos), bem como para o tratamento de procedimentos necessários à resolução desse tipo de problema (técnicas, estratégias de solução, argumentação) e atitudinais (juízos, normas e valores). Já Abdullah [7] considera que esse tipo de atividade fornece uma oportunidade para aquisição, solidificação e aplicação de conhecimento científico a partir de uma perspectiva pedagógica. Pizzolato et al. [8] afirmam que as dificuldades tanto conceituais quanto epistemológicas em resolver problemas poderiam ser superadas introduzindo os alunos em um ambiente de raciocínio científico, promovido por processos de investigação via resolução de problemas abertos. Nessa mesma linha de raciocínio, Barkovich e Carreño [9] e Laburú [10] consideram muito instrutivo trabalhar problemas abertos com os estudantes, pois são requeridos procedimentos que se aproximam do trabalho científico, como análise qualitativa de uma situação, delimitação do problema a partir de hipóteses adequadas, seleção das variáveis etc.

Outros argumentos apresentados na literatura se relacionam i) à dinâmica da aula pois, segundo Robinson [11, p. 84], “esse tipo de atividade contribui para a mudança do ritmo da aula e força os alunos a terem um papel ativo”, expondo rapidamente algumas deficiências em seu conhecimento; ii) ao trabalho colaborativo e auxílio na transição entre as experiências da vida cotidiana e a compreensão dos conceitos físicos [12]; iii) ao aumento da capacidade criativa dos estudantes [13]; iv) à promoção do pensamento crítico, geralmente visto como crucial para aprendizagem de Física [14]; e v) à superação da falta de interesse dos estudantes, possivelmente relacionada às abordagens abstratas, desvinculadas do mundo real [15].

Embora atividades de resolução de problemas abertos sejam consideradas potencialmente frutíferas

para o desenvolvimento acadêmico e profissional, não costumam ser implementadas na maioria dos contextos de ensino. Percebe-se, em geral, os professores enfatizarem a resolução de numerosos exercícios/problemas fechados¹, ao estilo dos presentes no final de capítulo da maioria dos livros didáticos, sem avançar na promoção do desenvolvimento de habilidades e recursos cognitivos necessários para resolver problemas abertos. Por outro lado, como consequência, os alunos tendem a se preocupar em memorizar algoritmos para reproduzir nas avaliações os mesmos procedimentos apresentados pelo professor em momento anterior [16, 17].

A necessidade de ressignificação das atividades tradicionais de resolução de problemas e a importância da implementação dos problemas abertos no ensino de Física justificam este trabalho: uma revisão da literatura sobre o uso de problemas abertos no ensino de Física, com o objetivo específico de *Analisar como vem sendo discutida a resolução de problemas abertos no ensino de Física nos últimos 20 anos*

Para atingir esse objetivo buscaremos, por meio de uma análise detalhada de todos os artigos que compõem esta revisão, responder às seguintes questões norteadoras:

- Qual o perfil da produção acadêmica em resolução de problemas abertos em Ensino de Física nos últimos 20 anos?
- O que a literatura chama de problemas abertos e quais os referenciais teóricos adotados nos trabalhos que discutem esses problemas no Ensino de Física?
- Quais as metodologias de pesquisa e de ensino associadas com a resolução de problemas?

Nas próximas seções apresentaremos a metodologia utilizada para seleção dos artigos desta revisão e a discussão dos resultados encontrados.

2. Metodologia da seleção de artigos

O trabalho de revisão da literatura foi realizado em revistas especializadas, abarcando trabalhos em português, inglês e espanhol. As diferentes etapas cumpridas são descritas a seguir.

1ª etapa: para revisão da literatura sobre resolução de problemas abertos no Ensino de Física, inicialmente realizamos uma pesquisa na plataforma de dados ERIC² (*Education Resources Informa-*

¹Os problemas fechados exigem aplicação de um número finito de conceitos, regras e princípios, sendo estudados para uma situação-problema restrita [1].

²<http://eric.ed.gov/>

tion Center), usando a combinação das seguintes palavras-chave (descritores): “*ill-structured problem*” e “*open-ended problem*”: “*ill-structured problem*”, “*open-ended problem*”, “*ill-defined problem*”, “*Fermi problems*”³, “*real problem*” e “*problem estimates*” e “*physics*”. A busca, limitada aos resumos (*abstracts*) de revistas científicas que adotam a política de revisão por pares (*peer reviewed*), nos levou a 34 artigos nos últimos 20 anos. A escolha das palavras-chave ocorreu a partir de uma primeira leitura do artigo de Jonassen [18], sobre resolução de problemas abertos, e posterior aprofundamento sobre o tema. Posteriormente, ampliamos a busca por artigos a outras plataformas de dados (*Web of Science*, *Scielo*, *Science Direct*, *Taylor & Francis Online*, *Wiley Online Library* e *Springer*) e periódicos nacionais e internacionais, de língua portuguesa, inglesa e espanhola, classificados como A1, A2 e B1 no Qualis 2014 da Capes na área de Ensino, apresentados no Quadro 1.

Além dos periódicos classificados no Qualis 2014, consultamos os seguintes periódicos internacionais, pois na busca feita nas plataformas de dados foram localizadas publicações nestas revistas: *American Journal of Physics*, *Cognition and Instruction*, *Computers & Education*, *Enseñanza de las Ciencias*, *Journal of Computer Assisted Learning*,

Journal of Research in Science Teaching, *Research in Science Education*, *Science Education*, *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, *Educational Technology Research and Development*, *International Journal of Science and Mathematics Education*, *Creative Research Journal*, *Journal of STEM Education*, *Journal of College Science Teaching*, *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, *Revista Mexicana de Física* e *The Turkish Online Journal of Educational Technology*.

O período de consulta de artigos, em todos os periódicos, foi de janeiro de 1996 a janeiro de 2016. Utilizamos o mesmo conjunto de seis palavras-chave da etapa anterior, com as respectivas traduções para português (isto é: problemas mal estruturados, problemas abertos, problemas mal definidos, problemas reais, problemas de Fermi e problemas de estimativa) e espanhol (*problemas mal-estructurados*, *problemas abiertos*, *problemas indefinidos*, *problemas reales*, *problemas de Fermi* e *problemas de estimación*). Nos periódicos nacionais e nos periódicos internacionais que aceitam publicação em língua portuguesa, compreendidos nesta revisão, pesquisamos, ainda, com as palavras-chave “situação-problema” e “situações-problema”, pois podem remeter a artigos sobre resolução de problemas abertos.

A busca sistemática por artigos envolvendo resolução de problemas abertos em Física, nas plataformas de dados e em todos os periódicos listados resultou em 276 artigos.

³Os problemas de Fermi (*Fermi problems*) recebem esse nome devido à aptidão de Enrico Fermi a propor e solucionar problemas de estimativas de ordem de magnitude de grandezas.

Quadro 1: Lista de periódicos pesquisados.

A1	Ciência & Educação
	Revista Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação
	<i>International Journal of Science Education</i>
	<i>Physics Education</i>
	Revista Brasileira de Ensino de Física
	<i>Journal of Science Education</i>
	<i>Science & Education</i>
A2	<i>Teaching and Teacher Education</i>
	Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências
	Investigações em Ensino de Ciências
	Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias
	Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos
	Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências
B1	<i>Revista Electrónica de Investigación en Educación em Ciencias</i>
	<i>Acta Scientiae</i>
	Alexandria
	Caderno Brasileiro de Ensino de Física
	Experiências em Ensino de Ciências
	<i>Latin American Journal of Physics Education</i>
	Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Tecnologia
<i>Revista de Enseñanza de la Física</i>	
<i>Science Education International</i>	

2ª etapa: para identificar os estudos mais alinhados ao nosso objetivo da revisão fizemos uma leitura criteriosa de todos os títulos, resumos e palavras-chave de todos os artigos encontrados.

Mantivemos alguns artigos que, embora não apresentassem a combinação exata dos descritores que adotamos, estavam fortemente alinhados aos temas da nossa pesquisa⁴. Como ilustração, citamos o artigo de Clement e Terrazzan [6], que utiliza, no resumo, termos como “situações-problema” e “abordagem investigativa”, mas, em grande medida, o artigo discute a importância de problemas abertos no Ensino de Física e alguns resultados alcançados por meio de um estudo com práticas de resolução de problemas abertos em Física.

Adotamos os seguintes critérios de exclusão de artigos:

1) não voltados ao ensino. A título de exemplificação, citamos o artigo de Ibadov [19], que discute problemas de astrofísica; de uso de raios X; e da origem de íons de elementos refratários (Fe II no cometa Halley).

2) o tema central não está relacionado a problemas abertos em Física. A título de exemplificação, citamos o artigo de Dios et al. [20], que descreve a forma como estudantes de engenharia lidam com equações diferenciais de segunda ordem em problemas de matemática. O artigo Barniol e Zavala [21] discute as dificuldades de estudantes universitários em resolver problemas que envolvem a notação de vetor unitário. Schenoni e Stipcich [22] apresentam uma análise das competências de estudantes do primeiro ano de um curso de Engenharia ao resolverem um problema qualitativo de Física, mas que não apresenta características dos problemas abertos que descreveremos na sequência. Diversos artigos apresentavam características semelhantes aos que acabamos de referenciar (problemas abertos em outras disciplinas ou não possuíam características de problemas abertos), e, portanto, foram excluídos desta revisão.

A partir do estabelecimento desses critérios, dos 276 artigos analisados, 229 foram excluídos. Ampliamos a revisão incorporando duas publicações de David Jonassen, renomado pesquisador na área de resolução de problemas: um artigo [18], que chamaremos de artigo “extra”, e um livro [1]. Ao final, restaram **47** artigos selecionados para compor

⁴Mesmo com a imposição de que os descritores escolhidos estivessem presentes no resumos dos artigos, as bibliotecas eletrônicas e as plataformas de busca de algumas revistas listaram alguns artigos que não apresentavam a combinação exata das palavras-chave usadas na busca.

esta revisão da literatura sobre resolução de problemas abertos em Física, **um** artigo extra, de fundamentação teórica, e **um** livro.

Ressaltamos que o processo adotado para a seleção dos artigos tem o potencial de fornecer um panorama da área de resolução de problemas abertos no Ensino de Física, contudo não abrange exaustivamente trabalhos envolvendo atividades de modelagem, laboratórios com roteiros abertos e abordagens investigativas que apenas tangenciam ou abordam circunstancialmente o tema da presente revisão.

3. Qual o perfil da produção acadêmica em resolução de problemas abertos em ensino de física nos últimos 20 anos?

Como forma de auxiliar a análise dos artigos relacionados a problemas abertos em Física e responder às questões de pesquisa, criamos, a partir da leitura dos artigos, algumas categorias e subcategorias, exaustivas e de exclusão mútua, apresentadas na Tabela 1.

A seguir, passaremos a discutir resumidamente os artigos em cada subcategoria proposta.

3.1. Trabalhos de Pesquisa

Foram classificados como trabalhos de pesquisa, artigos que explicitam objetivos, questões de pesquisa e metodologia para responder às questões.

Ênfase em aprendizagem colaborativa: compreende artigos que investigam a resolução de problemas em grupo e avaliação por pares [23]; a qualidade das discussões em grupo, o nível de participação e a contribuição de cada componente nas atividades de resolução de problemas abertos e fechados [24]; avaliação da interação dinâmica entre os grupos em resolução de problemas abertos e fechados [25]; o discurso dos estudantes para melhor compreensão sobre quais os raciocínios dos alunos em resolução de problemas abertos [12], a hipótese da falha produtiva, que considera que mesmo que inicialmente os alunos apresentem grandes dificuldades, o ambiente e as discussões em grupo oportunizam melhores condições de desenvolver habilidades de resolução de problemas abertos [26] e investigação de como é utilizada a experiência da vida diária nas discussões dos problemas [27]. Por fim, há o artigo de Camargo e Silva [28], que analisam uma atividade de Física elaborada e aplicada a alunos com deficiência visual,

Tabela 1: Categorias e subcategorias dos artigos de Física (N = 47).

	Categorias	Subcategorias	Número de artigos
1	Trabalhos de pesquisa	Ênfase em aprendizagem colaborativa	7
		Resolução de problemas como processo de modelagem	3
		Ênfase nas diferenças entre resolução de problemas abertos e fechados	2
		Ênfase em habilidades de resolução de problemas	6
		Desafios em resolução de problemas abertos	1
		Efeito das abordagens de assistência à aprendizagem	3
		Estudo teórico	3
		Revisão da Literatura	1
2	Propostas com aplicação	Ênfase em aprendizagem colaborativa	1
		Ênfase em habilidades de resolução de problemas	2
		Abordagens de resolução de problemas	6
3	Apresentação de Propostas	Abordagens de resolução de problemas	7
		Proposta de um específico problema aberto	4
		TOTAL	47

buscando a solução em grupo para um problema aberto sobre colisão entre um automóvel e um trem.

Resolução de problemas como processo de modelagem: Truyol e Gangoso [29] analisam as características do processo de resolução de problemas, entendido como processo de elaboração de modelos gerados por diferentes tipos de enunciados, e propõem uma nova classificação de problemas definidos e indefinidos, de acordo com a ideia do modelo científico. Truyol, Gangoso e López [30] analisam os resultados obtidos na utilização de diferentes tipos de enunciados de problemas, e propõem um modelo de compreensão para resolução de problemas de Física em que se supõe a existência de três níveis de representação: modelo de situação, modelo físico conceitual e modelo físico formalizado. Ramalho de Souza [31] apresenta uma pesquisa que tem por objetivo investigar a possibilidade de o ensino de Física ser mediado pela modelagem matemática, que, enquanto estratégia educacional, tem como característica a análise de situações-problema com ênfase na construção de modelos matemáticos. A conclusão da pesquisa é que o ensino de Física mediado pela modelagem matemática é possível desde que os conteúdos de interesse para a disciplina sejam aprofundados ou detalhados pelo professor durante a construção do modelo matemático.

Ênfase nas diferenças entre resolução de problemas abertos e fechados: Shin, Jonassen e McGee [32] comparam a habilidade de resolver problemas abertos e fechados num ambiente multimídia de resolução de problemas de Astronomia, constatando que os problemas abertos requerem um conjunto superior de habilidades, como a regulação da cognição;

já Chang e Chiu [33] discutem três formatos de avaliação com problemas abertos e fechados.

Ênfase em habilidades de resolução de problemas: Fortus [3] busca investigar se os participantes capazes de resolver problemas fechados de Física também são capazes de resolver problemas abertos que envolvem a necessidade de fazer suposições; Pizzolato et al. [8] analisam as habilidades epistemológicas e eficácia de uma abordagem de investigação científica para a resolução de problemas abertos em termodinâmica; Bravo e Pesa [34] buscam caracterizar as ideias que alunos de Ensino Fundamental explicitam sobre a natureza e percepção da cor, bem como inferir sobre os princípios ontológicos, epistemológicos e conceituais implícitos; Ogilvie [35] investiga possíveis mudanças nas crenças dos alunos em resolução de problemas; Chittasirinuwat, Kruatong e Paosawatyanong [36] investigam a importância do conhecimento intuitivo e Diakidoy e Constantinou [13], a criatividade em resolução de problemas abertos.

Desafios em resolução de problemas abertos: Hunsche e Auler [15] analisam criticamente os desafios e as potencialidades encontradas por estagiários de Física no processo de uma reconfiguração curricular que envolve, dentre outros aspectos, problemas abertos e elementos epistemológicos. Segundo manifestação dos próprios estagiários, a práxis educacional com dimensão central na resolução mecânica de problemas, em sua maioria idealizados e com respostas já conhecidas, pouco contribui ou até dificulta a construção de um currículo em torno de problemas reais, abertos; “a transição para uma concepção curricular, estruturada em torno de temas, de problemas reais, exigem um profundo redimensi-

onamento no currículo de formação de professores” [15, p. 17].

Efeito das abordagens de assistência à aprendizagem: Bulu e Pedersen [37] pretendem compreender como estudantes com diferentes níveis de conhecimento prévio e habilidades metacognitivas podem ser auxiliados em resolução de problemas abertos sobre conteúdos científicos, contribuindo para o estabelecimento de estratégias de assistência à aprendizagem (questões-estímulo, dicas, exemplos, lembretes e iniciadores de sentença). Shekoyan e Etkina [38] avaliam o desempenho dos alunos em problemas abertos depois de terem como auxílio questões-estímulo, enquanto Ding et al. [39] avaliam o desempenho dos alunos em resolução de problemas abertos com o auxílio de questões conceituais prévias.

Estudo teórico: com ênfase em laboratório de Física, Laburú [10] descreve uma aplicação didática de investigação usando problemas abertos em aulas de laboratório do Ensino Médio e a analisa criticamente. Para o autor, uma proposta aberta para o laboratório didático acaba comprometida pelo grande número de problemas conceituais, experimentais, cognitivos e matemáticos a serem enfrentados. Em sua aplicação didática, Laburú notou dificuldades dos alunos com a identificação e definição do problema, problemas de base formativa envolvendo entendimento de análise dimensional e significado de constantes e parâmetros, notável dificuldade em trabalhar com Algarismos significativos, ordens de grandeza e com as condições de contorno que influenciam ou envolvem o equipamento experimental. Niss [40] busca desenvolver um marco conceitual para identificar os desafios e obstáculos encontrados por estudantes universitários na resolução de problemas abertos em Física. Inspirado no processo de modelagem de Hestenes [41], Niss propõe um processo de resolução de problemas abertos em cinco etapas, quais sejam, análise da situação; escolha do paradigma e dos conceitos e princípios; transformação em modelo matemático; avaliação; e análise dos resultados e conclusão. Argumenta o autor que os estudantes apresentam dificuldades em identificar a situação inicial do problema e incorporá-lo em um determinado quadro conceitual, e dificuldades de representar adequadamente o problema, por não realizarem uma análise qualitativa. Gomes de Souza, Moreira e Matheus [42] analisam o desempenho de estudantes universitários em resolução de situações-problema experimentais sobre o conteúdo de Eletromagnetismo, à luz da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud. É destacada a pertinência de se

promover situações-problema efetivas, não apenas no sentido de procurar avaliar a ocorrência de aprendizagem significativa dos conteúdos ensinados, mas também que permitam/provoquem a explicitação do conhecimento-em-ação utilizado pelos estudantes.

Revisão da Literatura: Gomes, Borges e Justi [43] revisam a literatura sobre os seguintes processos e conhecimentos envolvidos na realização de uma atividade de investigação: formulação de hipóteses, experimentação e análise de evidências. A relação de causalidade entre as variáveis disponíveis é o principal aspecto analisado para inferir de que forma os indivíduos formulam hipóteses. Fatores como proximidade temporal, transmissão produtiva (um evento é considerado a causa, se for capaz de gerar efeito apropriado) e ordem temporal (a causa sempre precede o efeito), auxiliam um indivíduo a identificar as relações causais. Quanto à experimentação, as habilidades relacionadas ao seu processo são “bastante influenciadas pelo domínio teórico e por fatores relacionados à própria atividade, como, por exemplo, se o resultado esperado pode ser interpretado como positivo ou negativo” [43, p. 193]. Já em relação à análise de evidências, os autores concluem que os estudantes apresentam dificuldades em coordenar e diferenciar teoria e evidência; fornecem, muitas vezes, justificativas baseadas em suas concepções sobre o fenômeno, ao invés de se basearem nas evidências apresentadas. Essa revisão da literatura trata de abordagens investigativas, diferindo, pois, em escopo, da apresentada no presente trabalho, que está focada em resolução de problemas abertos em Física, essencialmente.

Ênfase em atividades experimentais: Campos et al. [44] apresentam uma investigação com o uso de situações-problema envolvendo experimentos em uma turma de estudantes do Ensino Fundamental. Como conclusão da pesquisa, entende-se que apesar da idade, os estudantes apresentaram maturidade para trabalhar com determinados conteúdos científicos, desde que em uma linguagem acessível, possibilitando a iniciação das crianças em atividades de caráter investigativo.

3.2. Proposta com aplicação

Esta categoria compreende artigos que apresentam uma proposta de implementação de problemas abertos no Ensino de Física e descrevem os resultados de pelo menos um estudo de aplicação.

Ênfase em aprendizagem colaborativa: composta por análise dos discursos dos alunos em entrevistas de resolução de problemas abertos em grupo [45].

Ênfase em habilidades de resolução de problemas: problemas abertos são aplicados e avaliados para analisar e enfatizar a importância do pensamento crítico [14] e da abordagem investigativa [17].

Abordagens de resolução de problemas: esta subcategoria compreende artigos com a proposta de resolução de problemas com abordagem investigativa em sala de aula e em laboratório. Clement e Terrazan [6] apresentam e discutem alguns dos resultados alcançados por meio de um estudo sobre práticas didáticas de resolução de problemas abertos que procuram seguir uma abordagem investigativa. Basir et al. [46] propõem uma mudança nas práticas de resolução de problemas de Física por meio da implementação de problemas abertos relacionados com as práticas cotidianas dos alunos, orientados a partir de uma abordagem de investigação científica. Longhini e Nardi [47] apresentam um conjunto de situações-problema sobre pressão atmosférica, e os resultados de uma aplicação desses problemas a licenciandos de Física, apontando, a partir de tais resultados, alguns aspectos a serem levados em consideração para elaboração de novas situações-problema sobre o tema. A experiência apontou que a aprendizagem parece ter ocorrido mais facilmente no processo de provocar os alunos na busca de soluções para as situações-problema apresentadas. Com ênfase em laboratório de Física, Wei e Ford [48] descrevem um projeto cujo objetivo foi enriquecer as experiências dos alunos em Mecânica dos Fluidos através da incorporação de atividades mão na massa, incentivando a resolução de problemas abertos, do mundo real. Robinson [11] propõe e avalia a implementação de problemas abertos, ao estilo dos problemas de Fermi, e conclui que os alunos que ingressam no Ensino Superior não possuem um conjunto de habilidades necessárias para resolver problemas dessa natureza. Por fim, Bryan [49] descreve uma tecnologia de análise de vídeo que possibilita investigação de diversos tipos de movimentos com detalhamento e precisão que poderia ser extremamente difícil sem o uso dessa tecnologia e apresenta os resultados de uma atividade de resolução de problemas abertos em conservação de energia mecânica em uma turma de nível superior, com o auxílio de vídeo análise. Os autores desses artigos, em geral, mostram-se entusiasmados com os resultados obtidos, mas relatam dificuldades que indicam que ainda há um árduo caminho entre experiências pontuais como as que

narram e a introdução de problemas abertos no dia a dia da sala de aula.

3.3. Apresentação de Propostas

Esta categoria compreende artigos que apresentam propostas didáticas para auxiliar na resolução de problemas abertos, assim como propostas e modelos de resolução de problemas abertos.

Abordagens de resolução de problemas: há propostas do uso de problemas abertos a partir de uma abordagem investigativa planejada para o desenvolvimento de situações argumentativas [50], de cenas de filmes [51], de artigos históricos [52], de um acidente de trânsito [53] e de videoanálise com vídeos disponíveis na internet que mostram testes de colisões entre automóveis [54]. Longhini e Menezes [55] apresentam uma proposta com seis atividades de ensino, na forma de situações-problema, planejadas a partir do programa computacional *Stellarium*, e com o objetivo de discutir temas de Astronomia, como as posições do Sol, da Lua e das estrelas. Um artigo propõe mudança nas práticas de ensino com a incorporação da detecção das ideias prévias dos estudantes e da inserção de problemas abertos para atingir uma mudança conceitual adequada [16].

Proposta de um específico problema aberto: composta por artigos que propõem um problema aberto e apresentam um modelo de solução: para questões ambientais [56], para o movimento de um carro em uma avenida com semáforos [9], para a potência de erupção do vulcão Puyehue [57] e para um salto de paraquedas de grande altitude [58].

3.4. Conteúdos de Física

Em relação aos conteúdos de Física abordados nos artigos, na Tabela 2, pode-se constatar que 53% dos artigos (n=25) apresentam discussões sobre algum conceito de Cinemática ou Dinâmica newtoniana. A predominância desses tópicos da Física tem sido recorrente ao longo dos anos, por exemplo, no desenvolvimento e aplicações de recurso computacionais [59, 60].

3.5. Nível de Ensino

Quanto ao nível de ensino considerado em cada artigo notamos que em 64% (n=30) dos trabalhos é dado ênfase ao Ensino Superior. O Ensino Médio compreende 30% dos estudos (n=14), enquanto o Ensino Fundamental, apenas 4% (n=3) desses trabalhos.

Tabela 2: Quantidade de artigos, de um total de 47, sobre resolução de problemas que abordam conteúdos de Física. Um mesmo artigo pode estar em mais de uma categoria.

Conteúdos	Quantidade de artigos	Autores, ano de publicação e referência
Dinâmica	18	Fortus, 2009 [3]; Clement e Terrazzan, 2012 [6]; Robinson, 2008 [11]; Erceg, Aviani e Mešić, 2013 [14]; Picquart, 2008 [16]; Clement e Terrazzan, 2011 [17]; Truyol, Gangoso e López, 2012 [30]; Ramalho de Souza [31]; Chittasirinuwat, Kruatong e Paosawatyanong, 2010 [36]; Ding et al., 2009 [39]; Bryan, 2004 [49]; Bellucco e Carvalho, 2014 [50]; Eftimiou e Llewellyn, 2007 [51]; Brown e Brown, 2014 [52]; Meoli, Martínez e Concari, 2014 [53]; Wrasse et al., 2014 [54]; Asorey, Dávalos e Clúa, 2011 [57]; Robinson e Patrick, 2008 [58].
Termodinâmica	08	Pizzolato et al., 2014 [8]; Laburú, 2003 [10]; Clement e Terrazzan, 2011 [17]; Enghag, Gustafsson e Jonsson, 2007 [27]; Ramalho de Souza [31]; Ogilvie, 2009 [35]; Niss, 2012 [40]; Greenler, 2015 [56].
Cinemática	07	Barkovich e Carreño, 2013 [9]; Clement e Terrazzan, 2011 [17]; Kapur e Kinzer, 2007 [24]; Kapur, Voiklis e Kinzer, 2008 [25]; Kapur, 2008 [26]; Camargo e Silva, 2006 [28]; Truyol e Gangoso, 2010 [29].
Óptica	06	Clement e Terrazzan, 2011 [17]; Chang et al, 2012 [23]; Bravo e Pesa, 2005 [34]; Ogilvie, 2009 [35]; Shekoyan e Etkina, 2007 [38]; Basir et al., 2008 [46].
Hidroestática e Hidrodinâmica	06	Enghag, Gustafsson e Jonsson, 2009 [12]; Clement e Terrazzan, 2011 [17]; Niss, 2012 [40]; Campos et al., 2012 [44]; Longhini e Nardi, 2009 [47]; Wei e Ford, 2015 [48].
Elettricidade	05	Clement & Terrazzan, 2011 [17]; Chang e Chiu, 2005 [33]; Niss, 2012 [40]; Wampler et al., 2013 [45]; Brown e Brown, 2014 [52].
Ondas	04	Clement e Terrazzan, 2011, 2012 [6, 17]; Ogilvie, 2009 [35]; Shekoyan e Etkina, 2007 [38].
Magnetismo e Eletromagnetismo	03	Ogilvie, 2009 [35]; Shekoyan e Etkina, 2007 [38]; Gomes de Souza, Moreira e Matheus [42].
Astronomia	03	Shin, Jonassen e McGee, 2003 [32]; Bulu e Pedersen, 2010 [37]; Longhini e Menezes, 2010 [55].
Física Moderna	01	Diakidoy e Constantinou, 2001 [13].

Do exposto até aqui, temos condições de responder à primeira questão norteadora: *Qual o panorama da produção acadêmica em resolução de problemas abertos em Ensino de Física nos últimos 20 anos?* A resposta será apresentada levando em conta os seguintes eixos de análise: tipos de artigo, foco do trabalho, conteúdos de Física e nível de ensino.

Dos artigos de Física encontrados (N=47) cerca de 58% (n=27) são artigos de pesquisa; 19% (n=9) são relatos de propostas com aplicação empírica; e 23% (n=11) se constituem artigos de apresentação de propostas. Podemos observar com isso um certo equilíbrio de produção. Dentre os trabalhos de pesquisa, a maioria são classificados como *ênfase em aprendizagem colaborativa* (n=7) e como *habilidade de resolução de problemas* (n=6).

Nas Propostas com Aplicação, mais da metade dos trabalhos (n=6) são classificados como *abordagens de resolução de problemas*, a exemplo do artigo Clement e Terrazzan [6], que implementa uma abordagem investigativa em práticas didáticas de resolução de problemas abertos. Já nos traba-

lhos de Apresentação de Propostas há uma maior quantidade de artigos com ênfase em *abordagens de resolução de problemas* (n=7), como a proposta de elaboração de problemas abertos a partir de cenas de filmes [51] e artigos com *propostas de um específico problema aberto* (n=4), como o modelo de solução para o salto de paraquedas de uma grande altitude [58]. (A Tabela 1 contém informações adicionais).

Entendemos que o total de 47 trabalhos que discutem resolução de problemas abertos no ensino de Física nos últimos 20 anos de pesquisa é muito pouco, frente à importância do tema e à grande quantidade de artigos publicados nos periódicos especializados nesse período.

Em relação aos conteúdos de Física discutidos, constatamos que mais da metade dos artigos (n=31) abordam conceitos ou consideram problemas abertos relacionados à área da mecânica, sendo 18 artigos em tópicos de dinâmica, sete em cinemática e seis em hidrostática e hidrodinâmica. A Termodinâmica, segunda área de Física que mais explorada com problemas abertos, é discutida em oito artigos. Existe

maior concentração de trabalhos de resolução de problemas abertos em Física em nível superior ($n=30$), enquanto o Ensino Médio contribui com 14 trabalhos e o Ensino Fundamental, com apenas três. A baixa quantidade de trabalhos em nível fundamental pode ser justificada à medida em que os conhecimentos de Física são trabalhados na disciplina de Ciências, e não em uma disciplina específica de Física. Alguns trabalhos sobre resolução de problemas abertos em Ciências, tanto no âmbito nacional quanto internacional, não foram selecionados porque o foco deste trabalho é o Ensino de Física.

4. O que a literatura chama de problemas abertos e quais os referenciais teóricos adotados nos trabalhos que discutem esses problemas no Ensino de Física?

Problema aberto é uma expressão polissêmica na literatura. Jonassen [1, 18] e Shin, Jonassen e McGee [32] classificam os problemas como *ill-structured problems/ill-defined problems* (problemas mal estruturados/problemas mal definidos) ou *well-structured problems/well-defined problems* (problemas bem estruturados/problemas bem definidos). Os problemas bem estruturados possuem um estado inicial e objetivos conhecidos, além de todas as informações necessárias para resolvê-lo e um conjunto limitado de regras para converter a situação inicial no objetivo. Possuem solução simples, caminhos ideais para resolução e exigem um sistema lógico de perguntas. Já os problemas mal estruturados não são resolvidos por procedimentos pré-definidos, tornando, assim, pouco evidente todos os procedimentos necessários a serem desenvolvidos. Em consonância com essas ideias, Gomes, Borges e Justi [43] consideram que as respostas aos problemas abertos não são conhecidas pelos estudantes, e às vezes, até pelos seus professores; apresentam incerteza sobre quais conceitos, regras e princípios são necessários para a solução ou como eles devem ser organizados. De acordo com Fortus [3], a principal diferença entre problemas bem e mal estruturados está, portanto, no grau em que são limitados.

Alguns pesquisadores distinguem exercícios, comumente utilizados no ensino tradicional, dos problemas autênticos [3, 6, 61]. Para eles, exercícios são tarefas que podem ser solucionadas por aplicação imediata de um procedimento rotineiro, já conhecido, bastante praticado, enquanto que um problema autêntico exige um processo de reflexão e tomada

de decisões. Destacam, ainda, que a distinção entre problemas e exercícios depende do conhecimento prévio e da experiência de cada indivíduo, pois, uma mesma situação pode ser considerada como um problema desafiador para uns, enquanto para outros, mero exercício de rotina.

Já Niss [40] e Green, Jones e Bean [62] discutem a relevância dos problemas do mundo real (*real-world problems/real problems*) em relação aos problemas padrão (*standard problems*). Os problemas padrão são bem estruturados, definidos como uma situação na qual são fornecidos todos os dados do problema, tipicamente numéricos, e o trabalho do solucionador é encontrar através de uma sequência de procedimentos já conhecidos, a variável declarada explicitamente. Os problemas reais, por sua vez, se referem a um contexto autêntico, em que a tarefa proposta envolve um evento da vida real, as informações dadas são realísticas e as soluções devem apresentar resultados consistentes com a realidade. Para Barkovich e Carreño [9] “um problema real é em geral um problema aberto, tendo que defini-lo e delimita-lo, formular hipótese, eger e usar modelos apropriados, fazer simplificações adequadas e, até mesmo, negociar a solução com outro colega” [9, p.63].

Fortus [3] apresenta estudos que definem problemas bem contextualizados (*context-rich problems*) como abordagens que têm como objetivo desenvolver uma análise, muitas vezes numérica, sobre eventos e objetos reais. São problemas relevantes para a vida acadêmica dos estudantes, não dependem do conhecimento de um passo a passo para sua solução, nem são resolvidos em uma só etapa. Apresentam, ainda, as seguintes características: (a) a variável desconhecida nem sempre é especificada; (b) o problema pode não apresentar todas as informações necessárias e (c) suposições podem ser necessárias para simplificar o problema. Para Enghag, Gustafsson e Jonsson [12, 27], os problemas bem contextualizados devem, ainda, incluir motivação ou razão plausível para que os alunos se envolvam com o problema, permitir que os estudantes visualizem ativamente a situação utilizando suas próprias experiências e serem elaborados de forma a dificultar que a tentativa de resolução se dê em uma única etapa, por inserção de números em uma fórmula.

Outros pesquisadores buscam evidenciar a importância dos *Fermi problems* no Ensino de Física. Esses problemas possuem pouca ou nenhuma informação [51], buscam fazer com que os alunos pensem como um cientista, desenvolvam modelos da situação problemática e produzam respostas cor-

respondentes à realidade, afastando os alunos da abordagem tradicional de encaixe de números em equações pré-estabelecidas [58]. Em muitas situações, sua solução é encontrada através de uma estimativa, avaliando a viabilidade de um modelo e determinando os procedimentos necessários [11].

De um total de 63 artigos localizados na busca pelas palavras-chave “situação-problema” e “situações-problema”, apenas em cinco o foco do estudo era a aprendizagem de problemas abertos, na acepção atribuída na presente revisão. No entanto, em nenhum deles foram discutidas as características dos problemas abertos. O trabalho Gomes de Souza, Moreira e Matheus [42], embora apresente um problema aberto em Física, tem foco nos elementos centrais da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, como a forma predicativa e operatória do conhecimento, e nos invariantes operatórios.

Buscamos identificar, nos 47 artigos que compõem esta revisão de literatura, o termo predominante utilizado em cada artigo, para designar o tipo de problema abordado. A Figura 1 apresenta os tipos de problemas e o número de artigos em que esses problemas são predominantes.

Alguns autores argumentam que existem diferenças entre os tipos de problemas apresentados na Figura 1, mas não especificam quais são essas diferenças. Shekoyan e Etkina [38] afirmam que os problemas bem contextualizados são um tipo especial de problemas mal estruturados, mas não aprofundam a discussão. Para Truyol e Gangoso [29], as caracterizações para os tipos de problemas apresentam algumas contradições em diferentes trabalhos, e também é bastante comum encontrar trabalhos em que não há distinção entre essas categorias. Como exemplo da falta de clareza e distinção das categorias de problemas, citamos o trabalho de Ge e Land [63], em que afirmam que a “resolução de problemas mal estruturados envolve o trabalho com proble-



Figura 1: Tipos de problemas e o número de artigos em que esses problemas são predominantes, num total de 47 trabalhos (N=47).

mas complexos, mal definidos, abertos e do mundo real” [63, p. 5]. Os autores argumentam, ainda que os problemas mal estruturados são do tipo que se encontra na vida cotidiana, em que um ou mais aspectos não são especificados, os objetivos não são claros e existem insuficientes informações para resolvê-los. Observamos que diferentes categorizações de problemas são mencionadas nesse exemplo, mas sem aprofundamento em suas diferenciações. Em outro estudo, como o de Green, Jones e Bean [62], os autores entendem que os problemas do mundo real (*real-world problems*) são, em algumas dimensões, problemas abertos. De fato, concordamos com os argumentos de Truyol e Gangoso [29] de que as categorizações de problemas não são claras, nem independentes, nem dicotômicas.

Contudo, embora a categorização dos problemas não seja consensual na literatura, é possível destacar algumas características coincidentes para todos os tipos de problemas da Figura 1, como: a) indefinição de um ou mais elementos do problema; b) diferentes soluções e caminhos de solução; c) incerteza sobre os conceitos e regras para solução; d) necessidade de conhecimento de domínio e conhecimento procedimental; e) exige que os alunos façam julgamentos sobre o problema, muitas vezes expressando opiniões ou crenças pessoais sobre a interpretação do problema [32].

A partir deste ponto da revisão, chamaremos de “problemas abertos” aqueles problemas que apresentarem as características elencadas acima. A título de ilustração, apresentaremos, a seguir, um exemplo de problema fechado e um de aberto, em Física, sobre o conteúdo de energia mecânica em nível de Ensino Médio.

4.1. Exemplo 1: problema fechado

“Dois carrinhos de brinquedo, de tamanhos desprezíveis, percorrem uma mesma pista retilínea, em sentidos iguais. O carrinho A, que vai à frente, tem velocidade escalar 10 m/s, e o carrinho B, 12 m/s. Em determinado instante dispara-se um cronômetro e mede-se a distância entre eles: 22 m. Qual o instante que B alcançará A?”

Observa-se que todas as informações estão disponíveis e basta que os estudantes utilizem a definição da energia cinética para que cheguem à resposta correta. Esse tipo de problema, no nosso entendimento, transmite ao aluno a ideia de que a Física é meramente uma coletânea de fórmulas e

métodos algorítmicos para resolver problemas, de forma mecânica.

4.2. Exemplo 2: problema aberto

“Estime a energia cinética dissipada na colisão frontal de dois automóveis populares que se deslocavam em sentidos contrários na máxima velocidade permitida em autoestradas brasileiras. Se toda energia dissipada na colisão pudesse ser utilizada para manter acesa uma lâmpada comum de 100 W, por quanto tempo ela permaneceria ligada?”

Para esse problema é necessário que os estudantes tenham capacidade de fazer estimativas, aproximações, trabalhar com ordens de grandeza, refletir sobre as condições do problema, lançar hipóteses, avaliar a viabilidade do tipo de solução proposta, dentre outros aspectos.

Quanto aos referenciais teóricos de aprendizagem adotados nos artigos desta revisão, constatamos que apenas dois artigos efetivamente adotam um referencial teórico para sustentar a adoção e elaboração de estratégias e atividades didáticas com potencial de levar o estudante ao enfrentamento e resolução de problemas abertos. Hunsche e Auler [15] buscam identificar e analisar criticamente os desafios e potencialidades encontradas, por estagiários de Física, no processo de uma reconfiguração curricular, envolvendo a implementação de problemas abertos, pautada pela abordagem de temas sociais, com o apoio dos pressupostos teóricos de Paulo Freire e referenciais ligados ao movimento CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade). Gomes de Souza, Moreira e Matheus [42] elaboram situações-problema sobre Eletromagnetismo e as analisam à luz da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud. Em alguns outros artigos, detectamos, apenas referências à ZDP (Zona de Desenvolvimento Proximal) de Vygotsky [37, 24], e referências à filosofia construtivista [6, 17].

Quanto aos referenciais teóricos de resolução de problemas abertos no Ensino de Física constatamos que prevalecem as concepções de David Jonassen. Em nossa classificação dos Trabalhos de Pesquisa (n=27), oito artigos citam ou adotam Jonassen como referencial de resolução de problemas abertos, utilizando as definições e conceitos propostos pelo referido autor. Dez artigos não trazem um referencial explícito, e não apresentam qualquer tipo de definição sobre os problemas abertos; referem-se a esses problemas como algo sobre o qual o leitor

já deva ter conhecimento. Os seis trabalhos restantes utilizam algumas contribuições próprias para definição de problemas abertos e referências a outros trabalhos, como de Fortus [3], Heller et al. [64], Ogilvie [34] e Laburú [10].

Fortus [3] diferencia os problemas abertos dos fechados pelo grau de restrições que eles apresentam. Tais restrições determinam as informações pertinentes ao problema e as operações que são permitidas para resolvê-lo. Heller et al. [64] classificam os problemas abertos com as seguintes características: a) cada problema é uma curta história em que o personagem principal é o aluno; b) inclui motivação plausível ou razão para os alunos determinarem algo; c) os objetos do problema são reais ou podem ser imaginados; d) os estudantes precisam visualizar ativamente a situação utilizando suas próprias experiências; e) o problema não pode ser resolvido em uma única etapa por inserção de números em uma fórmula; f) os problemas precisam ser suficientemente desafiadores para que um estudante não seja capaz de resolver sozinho, mas não tão desafiador que não consigam resolver em grupo. Para Ogilvie [35] os problemas abertos não possuem objetivos claros, têm insuficientes restrições, deixando o problema com múltiplas alternativas, e apresenta diferentes critérios de avaliação do processo de solução. Muitas dessas definições são semelhantes às aceções de Jonassen para problemas abertos (e.g. o problema deve gerar motivação à sua resolução), e outras, entendemos que são definições complementares (e.g. aluno como personagem principal de uma curta história) e contribuem para compormos nossa definição de problemas abertos. Laburú [10] adota a metodologia de investigação de Gil Pérez et al. [65], na qual é enfatizado que resolver problemas não significa uso quase exclusivo de ações repetidas e memorização de processos em exercícios semelhantes; entendem que resolução de problemas é uma atividade de busca exploratória, que necessariamente envolve uma reflexão mais intensa. Gil Pérez e colaboradores evidenciam em seus trabalhos a necessidade de um modelo didático ancorado em uma heurística baseada na investigação científica.

Nos trabalhos de Propostas com Aplicação (n=9), um artigo apresenta suas próprias definições sobre problemas de Fermi, enquanto os outros não apresentam um referencial de resolução de problemas abertos explícito ou não os definem. Embora Clement e Terrazan [6] não utilizem um referencial específico, fazem uso das concepções de Gil Pérez

et al. [66] para problemas com abordagens investigativas. Nos trabalhos classificados como Apresentação de Propostas (n=11), um artigo discute problemas abertos à luz do embasamento teórico de David Jonassen, outro apresenta definições sobre os problemas de Fermi, e Barkovich e Carreño [9] definem problemas abertos como um problema em que há necessidade de formular hipóteses, escolher e adotar modelos apropriados e fazer simplificações adequadas. Os demais problemas dessa categoria não possuem referencial para problemas abertos.

Com isso exposto, temos condições de responder à segunda questão: *O que a literatura chama de problemas abertos e quais os referenciais teóricos adotados nos trabalhos que discutem esses problemas no Ensino de Física?* A resposta será apresentada levando em conta referenciais teóricos sobre resolução de problemas abertos, referenciais teóricos associados com teorias de aprendizagem e concepções epistemológicas.

A literatura apresenta algumas diferentes definições para problemas abertos. No entanto, após análise dos 47 artigos, apontamos algumas das principais características dos problemas abertos: a) nem todos os elementos do problema são apresentados; b) existem diferentes caminhos de resolução; c) não admitem apenas uma resposta correta; c) incerteza sobre os conceitos a serem utilizados para resolver o problema; d) necessidade de conhecimento de domínio específico e conhecimento procedimental; e) referem-se a um contexto real.

Quanto aos referenciais teóricos, constatamos que os artigos não adotam embasamento teórico asso-

ciado a teorias de aprendizagem e concepções epistemológicas. Há poucas e superficiais referências a fundamentos das teorias de Vygotsky. Apenas Hunsche e Auler [15] deixam explícito que a reformulação curricular proposta está embasada nos pressupostos da teoria de Paulo Freire e na abordagem CTS e Gomes de Souza, Moreira e Matheus [42] que fundamentam seu estudo nas concepções da teoria dos campos conceituais de Vergnaud. Em relação a embasamento teórico para resolução de problemas abertos, prevalecem as concepções de David Jonassen.

5. Quais as metodologias de pesquisa e de ensino associadas com a resolução de problemas abertos?

Nesta seção analisamos as metodologias de pesquisa, metodologias de ensino, os instrumentos e tipos de avaliação utilizados em resolução de problemas abertos nos trabalhos de Pesquisa e de Propostas com Aplicação.

Passamos a descrever, com o auxílio do Quadro 2, as metodologias e os delineamentos de pesquisa dos artigos classificados como Pesquisa (n=27).

O Quadro 3 apresenta as metodologias de ensino, quando existem, e os instrumentos utilizados para orientar a pesquisa e avaliar o desempenho dos estudantes em resolução de problemas abertos. Os artigos Niss [40], Laburú [10] e Gomes de Souza, Moreira e Matheus [42] são categorizados como estudo teórico e Gomes, Borges e Justi [43] como revisão

Quadro 2: Metodologias e delineamentos de pesquisa utilizados em resolução de problemas abertos no Ensino de Física. A classificação do delineamento de pesquisa para cada artigo foi feita de acordo com Sampieri, Collado e Lucio [67, p. 139, p. 548, p. 551] e com as informações fornecidas pelos autores*.

Metodologia	Delineamento de pesquisa	Autores, ano de publicação e referência
Quantitativo	Pré-experimental	Pizzolato et al., 2014 [8]; Diakidoy e Constantinou, 2001 [13]; Shin, Jonassen e McGee, 2003 [32].
	Experimental	Chang et al., 2012 [23]*; Kapur, Voiklis e Kinzer, 2008 [25]; Chang e Chiu, 2005 [33]; Bulu e Pedersen, 2010 [37].
	Quase-experimental	Bravo e Pesa, 2005 [34]*; Shekoyan e Etkina, 2007 [38].
Qualitativo	Estudo de Caso	Fortus, 2009 [3]; Enghag, Gustafsson e Jonsson, 2009 [12].
	Pesquisa-Participante	Hunsche e Auler, 2012 [15]*; Ramalho de Souza, 2012 [31]*.
	Outros	Chittasirinuwat, Kruatong e Paosawatyanong, 2010 [36]; Campos et al., 2012 [44].
Métodos mistos	Sequencial	Kapur e Kinzer, 2007 [24].
	Integrado	Kapur, 2008 [26]; Enghag, Gustafsson e Jonsson, 2007 [27]; Camargo e Silva, 2006 [28]; Truyol e Gangoso, 2010 [29]; Truyol, Gangoso e López, 2012 [30]; Ogilvie, 2009 [35].
	Concomitante	Ding et al., 2009 [39].

da literatura e, por isso, não constam nos quadros 2 e 3.

Um dos instrumentos para avaliar a qualidade das soluções propostas a problemas abertos identificados e bastante utilizado nos artigos de pesquisa é o protocolo de avaliação (*rubrics*). Esse tipo de instrumento busca quantificar o grau com que os principais argumentos e justificativas são utilizados para a solução do problema. A título de exemplificação, o protocolo de avaliação utilizado em Kapur e Kinzer [24] é apresentado no Quadro 4.

Pelo exposto, temos condições de responder à terceira questão: *Quais as metodologias de pesquisa e de ensino associadas com a resolução de problemas?* Para isso utilizamos os Quadros 2 e 3, construídos a partir da leitura de todos os artigos classificados como Pesquisa e Propostas com Aplicação.

Percebemos um equilíbrio entre as metodologias quantitativa ($n=9$) e de métodos mistos ($n=8$), enquanto em menor número estão as pesquisas qualitativas ($n=6$). Três artigos, dois estudos teóricos e uma revisão da literatura, não foram enquadrados nessas metodologias. As pesquisas quantitativas apresentam um equilíbrio no uso dos delineamentos de pesquisa pré-experimental ($n=3$), experimental ($n=4$) e quase-experimental ($n=2$). Dois ($n=2$) trabalhos de pesquisa qualitativa são classificados como Estudo de Caso e outros dois ($n=2$) como Pesquisa-Participante. Já nas pesquisas com métodos mistos, a maioria ($n=6$) apresentam delineamento integrado. Como metodologia de ensino destacam-se, pela quantidade, as propostas de discussões em pequenos grupos ($n=10$), ambiente computacional de aprendizagem ($n=7$), as abordagens do tipo lápis e papel ($n=7$) e as abordagens investigativas ($n=5$).

Para avaliação do desempenho dos estudantes em resolução de problemas abertos e orientação da pesquisa, os instrumentos mais utilizados, contando os artigos de Pesquisa e os de Propostas com Aplicação, são: a) análise textual das respostas dos estudantes ($n=15$); b) análise dos caminhos de raciocínio utilizados para solucionar problemas, captados em vídeo-filmagens ($n=9$); c) protocolo de avaliação ($n=6$); d) pré/pós-teste ($n=6$).

6. Considerações finais

Para este artigo foram consultados os principais periódicos da área de Ensino de Física e diferentes plataformas de dados (por exemplo: *ERIC*) com o objetivo de revisar a literatura sobre resolução de problemas abertos no ensino de Física. Tendo em

vista o período de busca (20 anos) e a grande quantidade de periódicos consultados, entendemos que o total de 47 artigos sobre resolução de problemas abertos, nos diferentes níveis de ensino de Física, é muito baixo. Consideramos, assim, que mais esforços devam ser envidados para o desenvolvimento de trabalhos de resolução de problemas abertos em Física e sua implementação em sala de aula.

Constatamos que não há consenso na literatura em relação à categorização de problemas abertos. No entanto, foi possível identificar algumas características coincidentes em todos os tipos de problemas apresentados, como: a) nem todos os elementos do problema são fornecidos; b) diferentes possibilidades de soluções; c) incerteza sobre os conceitos e regras para solução; d) necessidade de conhecimento de domínio e conhecimento procedimental; e) exige que os alunos façam julgamentos sobre o problema; f) referem-se a um contexto real; g) requer aplicação de estimativas e idealizações por parte dos estudantes. Essas características fazem parte de nossa definição de problemas abertos.

É consenso na literatura investigada que os problemas abertos são capazes de contribuir significativamente com uma aprendizagem mais profunda de diversos conceitos de Física, conhecimentos procedimentais e atitudinais, por diversos motivos, dentre eles: a) favorecem o trabalho colaborativo e facilitam a transição entre as experiências da vida cotidiana e a compreensão dos conceitos físicos; b) contribuem para a mudança do ritmo da aula e força os alunos a terem um papel ativo; c) favorecem a superação das dificuldades conceituais e epistemológicas por parte dos estudantes.

No entanto, embora esse tipo de problema possa trazer diversos benefícios, tanto acadêmicos quanto profissionais, não costumam ser implementados em ambientes tradicionais de ensino, por diferentes motivos, dentre os quais destacamos: a) a maioria dos professores não conhece atividades e resultados com resolução de problemas abertos; b) mesmo que conhecessem os problemas abertos, a mudança de práticas profissionais é obstáculo para muitos professores. Seria fundamental, portanto, que mais pesquisas fossem realizadas na tentativa de investigar a fundo as principais dificuldades enfrentadas pelos professores, para que estratégias possam ser elaboradas para superar tais problemas.

Contribuições de diferentes estudos mostram que os alunos que ingressam nos cursos universitários,

Quadro 3: Metodologias de ensino e instrumentos de pesquisa/avaliação para os artigos de Pesquisa e Propostas com Aplicação.

Autores, ano de publicação e referência	Metodologias de ensino	Instrumento de pesquisa/avaliação
Pesquisa		
Fortus, 2009 [3]	-	Vídeo-filmagens; entrevistas; análise audiovisual e textual das respostas dos alunos.
Pizzolato et al., 2014 [8]	Projeto experimental (“Missão em Marte”)	Pré/pós-teste
Enghag, Gustafsson e Jonsson, 2009 [12]	Discussões em pequenos grupos.	Vídeo-filmagens; análise das interações com os pares.
Diakidoy e Constantinou 2001 [13]	-	Pré/pós-teste
Hunsche e Auler, 2012 [15]	-	Registros de observação; entrevistas.
Chang et al., 2012 [23]	Discussões em pequenos grupos; ambiente computacional de aprendizagem (avaliação online de pares).	Mapas conceituais; entrevistas; pré/pós-teste.
Kapur e Kinzer, 2007 [24]	Ambiente computacional de aprendizagem (discussões em plataformas online de comunicação); discussões em pequenos grupos;	Análise textual das respostas dos alunos; protocolo de avaliação; ferramenta computacional de comunicação.
Kapur, Voiklis e Kinzer, 2008 [25]	Discussões em grupo; ambiente computacional de aprendizagem.	Análise das discussões entre grupos de alunos; protocolo de avaliação; ferramenta computacional de comunicação.
Kapur, 2008 [26]	Ambiente computacional de aprendizagem; discussões em grupos.	Pré/pós-teste; análise textual das respostas dos alunos; protocolo de avaliação; ferramenta computacional de comunicação.
Enghag, Gustafsson e Jonsson, 2007 [27]	Discussões em pequenos grupos.	Vídeo-filmagens; análise das atitudes dos alunos em ação de resolução colaborativa dos problemas.
Camargo e Silva, 2006 [28]	Discussões em grande grupo a respeito do problema aberto em questão.	Áudio de uma colisão entre automóvel e trem; registros de observação.
Truyol e Gangoso, 2010 [29]	-	Vídeo-filmagens; análise textual.
Truyol, Gangoso e López 2012 [30]	-	Entrevistas; vídeo-filmagens, análise textual das respostas dos alunos.
Ramalho de Souza, 2012 [31]	Metodologia de projetos.	Análise dos relatórios de atividades dos estudantes.
Shin, Jonassen e McGee, 2003 [32]	Ambiente computacional de aprendizagem (uso de <i>software</i> educacional); estudo prévio; discussões em pequenos grupos	Testes de conhecimento específico; protocolo de avaliação; <i>software</i> educacional.
Chang e Chiu, 2005 [33]	-	Teste de conhecimento específico; questionário; atividades experimentais.
Bravo e Pesa, 2005 [34]	Abordagem investigativa (incluindo resolução de problemas abertos e pequenas experiências)	Pré/pós-teste; questionário.
Chittasirinuwat, Kruatong e Pao-sawatanyong, 2010 [36]	-	Entrevista; análise das respostas dos alunos.
Bulu e Pedersen, 2010 [37]	Ambiente computacional de aprendizagem (uso de <i>software</i> educacional); abordagens de assistência à aprendizagem	Pré/pós-teste; protocolo de avaliação; hipermedia [#] .
Shekoyan e Etkina, 2007 [38]	Resolução do tipo lápis e papel ao longo de um semestre; abordagens de assistência à aprendizagem.	Análise textual das respostas dos estudantes.
Ding et al., 2009 [39]	Abordagens de assistência à aprendizagem; resolução do tipo lápis e papel.	Vídeo-filmagens; entrevistas; análise textual das respostas dos alunos.
Campos et al., 2012 [44]	Atividades experimentais.	Análise de desenhos e respostas por escrito fornecidas pelos alunos e discussões de sala de aula.
Propostas com Aplicação		
Clement e Terrazzan, 2012 [6]	Abordagem investigativa; resolução do tipo lápis e papel.	Vídeo-filmagens; protocolo de avaliação; registros de observação; análise textual das respostas dos alunos.
Robinson, 2008 [11]	Resolução do tipo lápis e papel.	Análise textual das respostas dos alunos.
Erceg, Aviani e Mešić 2013 [14]	-	Análise textual das respostas.
Clement e Terrazzan, 2011 [17]	Abordagem investigativa; resolução do tipo lápis e papel.	Vídeo-filmagens; análise textual das respostas dos alunos.
Wampler, Demaree e Gilbert, 2013 [45]	Discussões em grupo (<i>Peer Instruction</i>); abordagem investigativa.	Vídeo-filmagens; análise textual das respostas dos alunos; entrevista.
Basir et al., 2008 [46]	Abordagem investigativa.	Análise textual das respostas dos alunos.
Longhini e Nardi, 2009 [47]	Resolução do tipo lápis e papel.	Análise textual das respostas.
Wei e Ford, 2015 [48]	Projeto experimental.	Questionário; atividades experimentais.
Bryan, 2004 [49]	Ambiente computacional de aprendizagem.	Ferramenta computacional de videoanálise (<i>Tracker</i>).

[#] *Software Alien Rescue*: engajar os alunos no estudo do Sistema Solar e das ferramentas e processos utilizados pelos cientistas para estudá-lo.

em geral, não são capazes de propor uma solução aos problemas abertos, apresentando deficiência em grande parte dos requisitos cognitivos necessários à resolução de problemas abertos [18, 32, 40]. Atividades de ensino voltadas à promoção do desenvolvimento de tais recursos cognitivos, como o conhecimento procedimental, a elaboração e interpretação de modelos, a capacidade de fazer estimativas e idealizações, e as estratégias metacognitivas, implementadas desde os ensinamentos Fundamental e Médio, e não apenas no ensino Superior, contribuiriam significativamente para a melhoria na aprendizagem de Física e redução das dificuldades dos estudantes em resolução de problemas abertos. O conjunto de recursos cognitivos necessários à resolução de problemas abertos, bem como as principais etapas de seu processo de resolução, não fizeram parte do escopo deste artigo. Discussões sobre esses temas serão apresentadas em trabalhos futuros.

Os artigos analisados nesta revisão não possuem, em geral, embasamento em teorias de aprendizagem. As teorias de aprendizagem são importantes, dentre outros aspectos, porque possibilitam aos professores adquirirem conhecimentos, atitudes, crenças, habilidades, fundamentais para atingir os objetivos de ensino; são elas que norteiam as práticas didáticas dos professores. Sem fundamentação teórica de aprendizagem, entendemos que as práticas de um professor tendem a tornar-se um tanto intuitivas, beirando

Quadro 4: Protocolo de avaliação utilizado para avaliar a qualidade das respostas dos estudantes a um problema aberto. Extraído da referência [24].

Qualidade	Descrição
0	A solução não apresenta argumentos.
1	A solução é sustentada por um conjunto limitado tanto de argumentos qualitativos quanto quantitativos, apresentando pouca, ou nenhuma discussão e justificação das suposições feitas.
2	A solução é apenas parcialmente sustentada por um misto de argumentos qualitativos e quantitativos; as suposições feitas não são mencionadas, adequadamente discutidas ou justificadas.
3	A solução compreende tanto argumentos qualitativos quanto quantitativos; suposições feitas não são adequadamente discutidas e justificadas.
4	A solução compreende tanto argumentos qualitativos como quantitativos; as suposições feitas são adequadamente discutidas e justificadas.

a tentativa e erro. Fazem-se necessárias, portanto, futuras investigações que proponham resolução de problemas abertos em Física com base em pressupostos teóricos bem definidos e coerentes com o objetivo de orientar os estudantes a um melhor desempenho nesse tipo de atividade.

Os resultados encontrados nesta revisão são importantes à medida em que se busca ressignificar as atividades de resolução de problemas abertos no ensino de Física. Esses resultados podem servir de ponto de partida ou inspiração para futuras pesquisas em resolução de problemas no ensino de Física, bem como referência para professores que buscam modificar sua prática docente em resolução de problemas.

Agradecimentos

Agradecemos ao valioso parecer do árbitro, que contribuiu para o aprimoramento deste trabalho.

Referências

- [1] D. Jonassen, *Learning to Solve Problems: An Instructional Design Guide* (Jossey-Bass, San Francisco, 2004).
- [2] D. Jonassen, *Journal of Research on Technology in Education* **35**, 362 (2003).
- [3] D. Fortus, *Science Education* **93**, 86 (2009).
- [4] J. Lee and J.M. Spector, *Instructional Science* **40**, 537 (2009).
- [5] D. Eseryel, D. Ifenthaler and X. Ge, *Educational Technology Research and Development* **61**, 443 (2013).
- [6] L. Clement e E. Terrazzan. *Experiências em Ensino de Ciências* **7**, 98 (2012).
- [7] H. Abdullah, *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching* **15**, 1 (2014).
- [8] N. Pizzolato, C. Fazio, R.M. Mineo and D. Adorno, *Physical Review Special Topics - Physics Education Research* **10**, 010107 (2014).
- [9] M. Barkovich and A. Carreño, *Latin American Journal of Physics Education* **7**, 63 (2013).
- [10] C.E. Laburú, *Investigações em Ensino de Ciências* **8**, 231 (2003).
- [11] A.W. Robinson, *Physics Education* **43**, 83 (2008).
- [12] M. Enghag, P. Gustafsson and G. Jonsson, *International Journal of Science and Mathematics Education* **7**, 455 (2009).
- [13] I.A.N. Diakidoy and C.P. Constantinou, *Creativity Research Journal* **13**, 401(2001).
- [14] N. Erceg, I. Aviani y V. Mešić, *Revista Mexicana de Física E* **59**, 65 (2013).
- [15] S. Hunsche y D. Auler, *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias* **11**, 1 (2012).

- [16] M. Picquart, *Latin American Journal of Physics Education* **2**, 29 (2008).
- [17] L. Clement y E. Terrazzan, *Revista Electrónica de Investigación em Educación em Ciências* **6**, 87 (2011).
- [18] D. Jonassen, *Educational Technology Research and Development* **45**, 65 (1997).
- [19] S. Ibadov, *Astronomical and Astrophysical Transactions* **18**, 799 (2000).
- [20] A.Q. Dios, A.H. Encinas, J.M. Vaquero, A.M. Del Rey, J.J.B. Pérez and G.R. Sánchez, *Procedia Computer Science* **51**, 1977 (2015).
- [21] P. Barniol and G. Zavala, *Physical Review Special Topics - Physics Education Research* **10**, 010121 (2014).
- [22] G. Schenoni and S. Stipcich, *Latin American Journal of Physics Education* **7**, 284 (2013).
- [23] S.H. Chang, T.C. Wu, Y.K. Kuo and L.C. You, *Turkish Online Journal of Educational Technology* **11**, 236 (2012).
- [24] M. Kapur and C.K. Kinzer, *Educational Technology Research and Development* **55**, 439 (2007).
- [25] M. Kapur, J. Voiklis and C.K. Kinzer, *Computers and Education* **51**, 54 (2008).
- [26] M. Kapur, *Cognition and Instruction* **26**, 379 (2008).
- [27] M. Enghag, P. Gustafsson and G. Jonsson, *Research in Science Education* **37**, 449 (2007).
- [28] E.P. de Camargo e D.da Silva, *Ciência & Educação* **12**, 155 (2006).
- [29] M.H. Truyol e Z. Gangoso, *Investigações em Ensino de Ciências* **15**, 463 (2010).
- [30] M.E. Truyol, Z. Gangoso and V.S. López, *Latin American Journal of Physics Education* **6**, 1 (2012).
- [31] E.S. Ramalho de Souza, *Acta Scientiae* **14**, 309 (2012).
- [32] N. Shin, D. Jonassen and S. McGee, *Journal of Research in Science Teaching* **40**, 6 (2003).
- [33] S. Chang and M. Chiu, *International Journal of Science and Mathematics Education* **3**, 117 (2005).
- [34] B.M. Bravo e M.A. Pesa, *Investigações em Ensino de Ciências* **10**, 337 (2005).
- [35] C.A. Ogilvie, *Physical Review Special Topics - Physics Education Research* **5**, 020102 (2009).
- [36] O. Chittasirinuwat, T. Kruatong and B. Pasawatyanong, *International Conference on Physics Education* **1263**, 79 (2010), disponível em <http://scitation.aip.org/content/aip/proceeding/aipcp/10.1063/1.3479899>.
- [37] S.T. Bulu and S. Pedersen, *Educational Technology Research and Development* **58**, 507 (2010).
- [38] V. Shekoyan and E. Etkina, *Physics Education Research Conference* **951**, 192 (2007), disponível em <http://scitation.aip.org/content/aip/proceeding/aipcp/10.1063/1.2820930>.
- [39] L. Ding, N. Reay, A. Lee, L. Bao, M. Sabella, C. Henderson and C. Singh, *Physics Education Research Conference* **1179**, 129 (2009), disponível em <http://scitation.aip.org/content/aip/proceeding/aipcp/10.1063/1.3266695>.
- [40] M. Niss, *Latin American Journal of Physics Education* **6**, 3 (2012).
- [41] D. Hestenes, in: *Thinking Physics for Teaching*, edited by C. Bernardini, C. Tarsitani and M. Vincentini (Plenum Press, New York, 1995), p. 25-66.
- [42] C.M.S. Gomes de Souza, M.A. Moreira e T.A.M. Matheus, *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências* **5**, 61 (2005).
- [43] A.D.T. Gomes, A.T. Borges e R. Justi, *Investigações em Ensino de Ciências* **13**, 187 (2008).
- [44] B.S. Campos, S.A. Fernandes, A.C.P.B. Ragni e N.F. Souza, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **34**, 1402 (2012).
- [45] W. Wampler, D. Demaree and D. Gilbert, *Physics Education Research Conference* **1513**, 414 (2013), disponível em <http://scitation.aip.org/content/aip/proceeding/aipcp/10.1063/1.4789740>.
- [46] M.A. Basir, M.R. Alinaghizadeh and H. Mohamadpour, *Physics Education* **43**, 407 (2008).
- [47] M.D. Longhini e R. Nardi, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **26**, 7 (2009).
- [48] T. Wei and J. Ford, *Journal of STEM Education* **16**, 46 (2015).
- [49] J. Bryan, *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education* **4**, 284 (2004).
- [50] A. Bellucco and A.M.P. de Carvalho, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **31**, 30 (2014).
- [51] C.J. Efthimiou and R.A. Llewellyn, *Physics Education* **42**, 253 (2007).
- [52] T. Brown and K. Brown, *Journal of College Science Teaching* **44**, 64 (2014).
- [53] J.J. Meoli, D.E. Martínez and S.B. Concari, *Latin American Journal of Physics Education* **8**, 469 (2014).
- [54] A.C. Wrasse, L.P. Etcheverry, G.F. Marranghello and F.S. Rocha, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **36**, 1501 (2014).
- [55] M.D. Longhini and L.D.D. Menezes, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **27**, 433 (2010).
- [56] R. Greenler, *Physics Education* **50**, 529 (2015).
- [57] H. Asorey, A.L. Dávalos y A. Clúa, *Revista Enseñanza de la Física* **24**, 49 (2011).
- [58] A.W. Robinson and C.G. Patrick, *Physics Education* **43**, 477 (2008).
- [59] I.S. Araujo, E.A. Veit e M.A. Moreira, *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências* **4**, 5 (2004).
- [60] S. López, E.A. Veit e I.S. Araujo, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **38**, 2401 (2016).
- [61] L.O.Q. Peduzzi, *Caderno Catarinense de Ensino de Física* **14**, 229 (1997).
- [62] G.P. Green, S. Jones and J.C. Bean, *Business and Professional Communication Quarterly* **78**, 314 (2015).

- [63] X. Ge and S.M. Land, Educational Technology Research and Development **52**, 5 (2004).
- [64] P. Heller, R. Keith and A. Scott, American Journal of Physics **60**, 627 (1992).
- [65] D. Gil Pérez, A. Carrée, M. Caillot, J. Terregrosa y L. Castro, Investigación em la Esculela **6**, 3 (1988).
- [66] D. Gil Pérez, J. Terregrosa, L. Ramírez, A. Carrée, M. Gofard e A.M.P. de Carvalho, Caderno Catariense de Ensino de Física **9**, 7 (1992).
- [67] R.H. Sampiere, C.F. Collado e M.P.B. Lucio, *Metodologia de Pesquisa* (Editora Penso, Porto Alegre, 2013).
- [68] I.S. Araujo e E. Mazur, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **30**, 362 (2013).