

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA**

**RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS ABERTOS PARA APRENDIZAGEM DE FÍSICA NO
ENSINO MÉDIO NA PERSPECTIVA DA MODELAGEM DIDÁTICO-CIENTÍFICA**

Vagner Oliveira

Tese realizada sob a orientação dos professores Dr. Ives Solano Araujo e Dra. Eliane Angela Veit, apresentada ao Instituto de Física da UFRGS em preenchimento parcial dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ensino de Física.

Porto Alegre, 2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para a construção deste trabalho. Em especial, agradeço:

aos meus orientadores, professora Eliane e professor Ives, aos quais tenho profunda admiração por toda a competência e empenho que dedicam a seus estudantes. Agradeço pela prontidão, apoio e dedicação que tiveram, o que contribuiu, significativamente para meu crescimento acadêmico;

à minha mãe, pelo apoio e por ter me ensinado a valorizar a educação;

à Laura, minha esposa e amiga, pelas palavras de incentivo nos momentos mais difíceis, por confiar no meu potencial e pela compreensão nos momentos de ausência;

aos meus amigos Terrimar, Tobias, Leonardo pelo incentivo e palavras de apoio ao compartilharmos nossas angústias, e pelas diversas contribuições ao meu trabalho;

aos meus colegas Claudio, Renato, Maykon e Matheus pelas contribuições e discussões sobre o ensino de física;

aos meus colegas e coordenadores de ensino do IFSul (Campus Pelotas) que estiveram sempre dispostos a contribuir e me auxiliar nas minhas necessidades acadêmicas;

aos meus alunos que colaboraram como participantes da pesquisa.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	13
OBJETIVOS, QUESTÕES DE PESQUISA E ESTRUTURA DA PESQUISA	16
CAPÍTULO 2. REVISÃO DA LITERATURA	23
2.1 METODOLOGIA DA SELEÇÃO DE ARTIGOS	23
2.2 QUAL O PERFIL DA PRODUÇÃO ACADÊMICA EM RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS ABERTOS EM ENSINO DE FÍSICA ENTRE JANEIRO DE 1996 E JANEIRO DE 2016?	26
2.2.1 Trabalhos de Pesquisa	26
2.2.2 Proposta com aplicação	30
2.2.3 Apresentação de Propostas	31
2.2.4 Conteúdos de Física	31
2.2.5 Nível de Ensino	33
2.3 O QUE A LITERATURA DENOMINA DE PROBLEMAS ABERTOS E QUAIS OS REFERENCIAIS TEÓRICOS ADOTADOS NOS TRABALHOS QUE DISCUTEM ESSES PROBLEMAS NO ENSINO DE FÍSICA?	34
2.4 QUAIS AS METODOLOGIAS DE PESQUISA E DE ENSINO ASSOCIADAS COM A RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS ABERTOS?	39
2.5 QUAIS AS ETAPAS DE RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS ABERTOS?	43
2.6 QUAIS OS RECURSOS COGNITIVOS NECESSÁRIOS À RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS ABERTOS APONTADOS NA LITERATURA?	47
2.7 QUAIS SÃO AS PRINCIPAIS DIFICULDADES, ATITUDES E CRENÇAS DOS ALUNOS EM RELAÇÃO À RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS ABERTOS NO ENSINO DE FÍSICA? E DOS PROFESSORES?	51
2.8 ABORDAGENS DE ASSISTÊNCIA À APRENDIZAGEM (ABORDAGENS SCAFFOLDING)	53
CAPÍTULO 3. REFERENCIAIS TEÓRICOS	61
3.1 CONCEPÇÕES DE JONASSEN PARA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS ABERTOS	61
3.2 MODELAGEM DIDÁTICO-CIENTÍFICA	65
CAPÍTULO 4. METODOLOGIA	75
4.1 ESTUDO QUALITATIVO NA PERSPECTIVA DE YIN	75
4.2 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS	79
4.3 ANÁLISE DOS DADOS DO ESTUDO EMPÍRICO	81
CAPÍTULO 5. ESTUDO EMPÍRICO	83
5.1 CONTEXTO DO ESTUDO	83
5.2 METODOLOGIA DE ENSINO	84
5.3 RESULTADOS	88
5.3.1 Encontro 1: Estimativas	88
5.3.2 Encontro 2: Idealização e representação	93
5.3.3 Encontro 3: Hipóteses e avaliação de resultados	94
5.3.4 Encontro 4: Argumentação e autorregulação	97
5.3.5 Encontro 5: Entrevista	101
5.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	101
5.5 COMENTÁRIOS FINAIS E CONCLUSÕES DO ESTUDO	115
CAPÍTULO 6. ESTUDO TEÓRICO	117
6.1 RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS ABERTOS SOB UMA PERSPECTIVA CONSTRUTIVISTA	117

Problemas abertos sob uma abordagem socioconstrutivista	122
6.2 RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS ABERTOS VISTO COMO UM PROCESSO DE MODELAGEM CIENTÍFICA	123
6.3 ARTICULAÇÃO TEÓRICA DE REFERÊNCIA (ATR)	134
6.4 POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO DA ATR EM ATIVIDADES DE RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS ABERTOS	148
CAPÍTULO 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	153
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	161
APÊNDICE A	171
ENTREVISTA: ESTUDO EMPÍRICO	171
APÊNDICE B	172
PROBLEMAS ABERTOS DO ESTUDO EMPÍRICO	172
APÊNDICE C	177
QUESTÕES-ESTÍMULO UTILIZADAS NO ESTUDO EMPÍRICO	177
APÊNDICE D	178
TERMO DE CONSENTIMENTO INFORMADO E ESCLARECIDO	178
APÊNDICE E	179
PROBLEMAS ABERTOS EM FÍSICA, PROPOSTOS A PARTIR DO EMBASAMENTO DA ATR	179
VAMOS ESTIMAR!	181

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Lista de periódicos pesquisados na revisão da literatura	22
Quadro 2.2 – Metodologias e delineamentos de pesquisa utilizados em resolução de problemas abertos no ensino de física	38
Quadro 2.3 – Metodologias de ensino e instrumentos de pesquisa/avaliação para os artigos de Pesquisa e Propostas com Aplicação	38
Quadro 2.4 – Protocolo de avaliação utilizado para avaliar a qualidade das respostas a um problema aberto	40
Quadro 2.5 – Etapas de resolução de um problema aberto	42
Quadro 2.6 – Exemplos de questões-estímulo	54
Quadro 2.7 – Exemplos de iniciadores de sentença	56
Quadro 3.1 – Síntese das etapas de resolução de problemas propostas por Jonassen (1997)..	62
Quadro 4.1 – Variações da pesquisa qualitativa	78
Quadro 4.2 – Método de coleta de dados, tipos de dados e exemplos de dados específicos para pesquisa qualitativa	80
Quadro 4.3: Protocolo de avaliação	81
Quadro 5.1 – Síntese das atividades de ensino e seus objetivos, realizadas no Estudo Empírico	89
Quadro 5.2 – Decomposição e recomposição dos dados da entrevista.....	109
Quadro 5.3 – Interpretação dos dados obtidos na entrevista.....	112
Quadro 5.4 – Interpretação dos dados da entrevista relacionados ao conhecimento de sistemas de unidades e medidas	113
Quadro 5.5 – Estimativas apresentadas em ação de resolução do problema aberto proposto na entrevista.....	115
Quadro 6.1 – Conceitos do campo conceitual da modelagem didático-científica e exemplos de invariantes operatórios gerais e específicos, e conceitos e invariantes operatórios de referência, específicos do trabalho experimental.....	137
Quadro 6.2 – Descrição sintética da Articulação Teórica de Referência para resolução de problemas abertos em física, em nível médio, à luz da Modelagem Didático-Científica	139

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Categorias e subcategorias dos artigos de física	25
Tabela 2.2 – Quantidade de artigos sobre resolução de problemas abertos que abordam conteúdos de física	30
Tabela 2.3 – Principais tipos de abordagens <i>scaffolding</i>	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Tipos de problemas e o número de artigos em que esses problemas são predominantes	34
Figura 2.2 – Número de artigos que discutem os recursos cognitivos necessários à resolução de problemas abertos	49
Figura 3.1 – Classificação de problemas segundo Jonassen (2010)	60
Figura 3.2 – Estrutura Conceitual de Referência para o processo de modelagem científica no contexto da física	70
Figura 3.3 – Síntese da ampliação da Estrutura Conceitual de Referência da modelagem científica, envolvendo o processo de contrastação empírica das ideias científicas	74
Figura 3.4 – Estrutura geral da contrastação de hipóteses	76
Figura 5.1 – Resposta fornecida pelos estudantes 4 e 5 ao problema aberto intitulado “Colisão de automóveis”	95
Figura 5.2 – Estudantes resolvendo um problema aberto	97
Figura 5.3 – Caminho de solução para um problema aberto, apresentado pelos estudantes 1, 2 e 3.	100
Figura 5.4 – Resposta fornecida pelos estudantes 1, 2 e 3 ao problema aberto intitulado “Flutuação dos Corpos”	103
Figura 5.5 – Resposta fornecida por um estudante, para o problema aberto proposto na entrevista	113
Figura 6.1 – Etapas de modelagem para resolução de problemas abertos em física, propostas por Niss (2012)	126
Figura 6.2 – Diagrama elétrico para resolução de um problema proposto por Niss (2012)	130
Figura 6.3 – Esquema de um circuito RLC	132
Figura 6.4 – Etapas de resolução de problemas abertos, suas principais características e elementos requeridos para realização da tarefa	136

RESUMO

Atividades de resolução de problemas de física em nível médio, via de regra, resumem-se à memorização, por parte dos estudantes, de procedimentos rotineiros e busca da equação que melhor se encaixa nos dados fornecidos no enunciado do problema. Os professores atribuem boas notas aos alunos que conseguem reproduzir tais algoritmos em provas e os alunos, com boas notas, acreditam que aprenderam física. No entanto, no cotidiano, na vida acadêmica e profissional, os indivíduos frequentemente se deparam com problemas novos, cuja solução é até então desconhecida por eles; problemas em que nem todas as informações iniciais são fornecidas e que diferentes caminhos de solução e conjunto de argumentos podem levar a resultados muito semelhantes. Esses problemas, denominados de problemas abertos, exigem e estimulam o desenvolvimento de um conjunto de habilidades e conhecimentos mais profundos e abrangentes do que os problemas fechados e os exercícios de aplicação, costumeiramente presentes nos livros didáticos e nas salas de aula. Como principal objetivo deste trabalho, buscamos ressignificar as atividades de resolução de problemas de física no ensino médio, a partir da inclusão de problemas abertos. Para alcançar esse objetivo, foram realizados dois estudos, um de caráter empírico, e outro de cunho teórico. No Estudo Empírico, foi elaborado, implementado e avaliado um módulo didático com resolução de problemas abertos em uma turma voluntária. Os resultados do primeiro estudo são convergentes com os da literatura, indicando que os estudantes apresentam dificuldades desde o primeiro estágio, em grande parte em virtude do baixo grau de conhecimento específico, procedimental e metacognitivo, das dificuldades de representação do evento real e das inadequadas crenças epistemológicas. Esses resultados evidenciam que é preciso enfrentar problemas abertos com o uso de uma nova abordagem, a ser construída levando-se em conta a forma como os alunos aprendem, considerando a construção do conhecimento científico, e enfatizando a resolução dos problemas abertos como um processo de representação. Tendo em vista que a Modelagem Didático-Científica engloba esses elementos, e já mostrou bons resultados em diversos estudos empíricos, esse foi o referencial escolhido para construir, no Estudo Teórico, uma articulação teórica entre os principais elementos do processo de resolução de problemas abertos de física e os principais componentes do campo conceitual da modelagem didático-científica. Com essa construção teórica, cunhada de Articulação Teórica de Referência, a resolução de problemas abertos de física pode ser encarada como um processo de modelagem, sob uma abordagem construtivista, mantendo a construção do conhecimento físico em primeiro plano.

Palavras-chave: Resolução de problemas, problemas abertos de física, modelagem científica.

ABSTRACT

Physics problem-solving activities at high school usually refer to student memorization of procedures and the search for the equation that best fits the data provided in the problem statement. Teachers assign good grades to students who can replicate such algorithms on tests. Students with good grades believe they have learned a lot of physics. However, in everyday and professional life, individuals often encounter new problems, whose solution has been unknown to them; problems in which not all initial information is provided and that different solution paths and set of arguments can lead to similar results. These problems, denominated ill-structured problems, require and stimulate the development of a deeper and more comprehensive set of skills and knowledge than well-structured problems and application exercises commonly found in textbooks and classrooms. As the main objective of this work, we desire to re-signify the activities of solving physics problems at high school, based on the inclusion of ill-structured problems. To reach this objective, two studies were carried out, one empirical and other theoretical. In the empirical study, a didactic module was developed, implemented and evaluated with the resolution of ill-structured problems in a voluntary group. The results of the first study are convergent with the literature, indicating that students present difficulties from the first stage, largely due to the low degree of specific, procedural and metacognitive knowledge, difficulties of representing the real event and inadequate epistemological beliefs. These results show that it is necessary to face the ill-structured problems with the use of a new approach, to be built considering the way students learn, the construction of scientific knowledge, and emphasizing the resolution of ill-structured problems as a representation process. The theoretical framework chosen was the Didactic-Scientific Modeling. It includes these elements and has already shown good results in several empirical studies. As the main results of this thesis, we propose a theoretical articulation between the main elements of the physics ill-structured problem solving and the main components of the field of didactic-scientific modeling. In this way, the resolution of physics ill-structured problems can be seen as a modeling process, under a constructivist approach, keeping the construction of physical knowledge in the foreground.

Keywords: Problem-solving, physics ill-structured problem, scientific modeling.

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

Um dos grandes pilares das atividades de ensino e de pesquisa em Ensino de Física é a resolução de problemas, haja vista o grande tempo destinado pelos professores às sessões de resolução de problemas em sala de aula e a grande quantidade de pesquisa que é feita sobre a temática (e. g. FERREIRA & CUSTÓDIO, 2013). Resolução de problemas fornece uma oportunidade para aquisição, solidificação e aplicação do conhecimento científico a partir de uma perspectiva pedagógica; ajuda os estudantes a compreenderem conceitos, princípios leis e formulações, além de ser uma ferramenta para estimular processos cognitivos (ABDULLAH, 2014).

No entanto, em diversos contextos acadêmicos, as práticas de resolução de problemas não estimulam o desenvolvimento dessas características. De modo geral, essas práticas são feitas de forma descontextualizada, carentes de significados e com forte ênfase no formalismo matemático, como se esse elemento fosse o fim último do processo de ensino-aprendizagem de Física. A maneira como os conteúdos são apresentados termina muitas vezes restringindo seu sentido e aplicação ao ambiente escolar. Percebe-se que, em alguns casos, os professores enfatizam a resolução de numerosos exercícios de aplicação e de problemas fechados, ao estilo daqueles encontrados no final de capítulos de boa parte dos livros didáticos. Como consequência, os alunos tendem a se preocupar em memorizar algoritmos de resolução de problemas e tentar reproduzir nas avaliações os mesmos procedimentos apresentados pelo professor em momento anterior, não percebendo a relação entre teoria e realidade (CLEMENT & TERRAZZAN, 2011; PICQUART, 2008).

Peduzzi (1997) e Tao (2001) já alertavam que muitos professores apresentam e tratam os problemas, em grande parte, apenas como exercícios de aplicação. Um dos fatores que contribui para a permanência desse quadro são os livros didáticos que, em sua maioria, não incluem problemas genuínos. O foco na realização de exercícios de fixação, presente na maioria das aulas de resolução de problemas, não favorece a aprendizagem significativa do tópico em estudo. Como salientado por Costa (2005), os problemas não são propriamente resolvidos pelos alunos, mas sim, pelo professor, que apresenta a sua solução aos estudantes para que possam aplicá-la a problemas semelhantes. Além disso, os alunos não percebem a atividade de resolução de problemas como uma oportunidade para aprender e interpretar os conceitos envolvidos (MASON & SINGH, 2010).

Ao analisar as políticas públicas, como as Orientações Curriculares para o Ensino Médio, de 2006, e as orientações complementares dos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM¹), percebemos um considerável

¹ Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias.

distanciamento entre suas recomendações e as práticas de resolução de problemas de grande parte do cenário atual de ensino. Nas Orientações Curriculares de 2006 constam algumas recomendações no sentido de incentivar os professores para que promovam situações de aprendizagem que exponham os alunos a problemas que exijam construção de modelos na análise das situações físicas. Uma das causas atribuídas ao desinteresse dos estudantes, nesses documentos, é a artificialidade dos problemas tratados no contexto escolar; apontam, então, que uma das formas de se superar esse problema é a partir de atividades que levem em consideração a forma como a Física constrói modelos da realidade para tentar compreendê-la. Tendo isso em mente, uma das propostas é de se pensar o ensino de Física a partir do processo “situação – problema – modelo”, entendendo que as situações de ensino propostas em sala de aula, a partir de uma abordagem baseada em problemas não podem estar de antemão idealizadas, precisando, para sua investigação, que sejam simplificadas (BRASIL, 2006).

Dos Parâmetros Curriculares (PCNEM+) ressaltamos o argumento de que a Física no Ensino Médio deve promover o desenvolvimento de um conjunto de competências específicas que permitam que o aluno lide com fenômenos naturais e tecnológicos, presentes tanto no cotidiano mais imediato quanto na compreensão do universo distante, que seja capaz de lidar com situações reais, crises de energia, problemas ambientais, manuais de aparelhos, concepções de universo, dentre outros. Para tanto, o conhecimento aprendido em Física não deveria se reduzir a apenas uma dimensão pragmática, mas, sobretudo, deveria ser ampliado de modo a requerer que os alunos “adquiram competências para lidar com situações que vivenciam ou que venham a vivenciar no futuro, muitas delas novas e inéditas” (BRASIL, 2002, p. 61).

Em harmonia com essas ideias, nos contextos acadêmico, profissional e cotidiano, os indivíduos mais valorizados nas mais diversas áreas costumam ser aqueles capacitados a propor solução a problemas novos, até então desconhecidos pelos sujeitos envolvidos, que chamaremos neste trabalho de problemas abertos. Engenheiros capazes de elaborar projetos com uso de novos materiais e novas tecnologias para preservar os recursos naturais, médicos aptos a fazerem diagnósticos de doenças difíceis de serem identificadas, políticos capazes de controlar conflitos locais e internacionais, estudantes capazes de construir bons protótipos de robôs para uma mostra científica, cozinheiros amadores que compreendem o tipo de produto que poderá produzir uma reação química adequada para retirar uma mancha de um tecido, são alguns exemplos.

Os 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 (JONASSEN, 2003; 2004; FORTUS, 2009; LEE & SPECTOR, 2012; ESERYEL, IFENTHALER, & GE, 2013). 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. Esse tipo de problema estimula que os estudantes compreendam a relação existente entre os conhecimentos estudados e o mundo real. Os problemas utilizados na maioria das salas de aula de nível médio, e presentes em praticamente todos os livros didáticos, são do tipo fechados, que exigem aplicação de um número finito de conceitos, regras e princípios, sendo estudados para uma situação-problema restrita (JONASSEN, 2004). Há ainda autores que diferenciam a categoria de problemas para a categoria de exercícios, embora essa distinção seja bastante sutil, porque depende, em grande medida, do sujeito e da tarefa que se apresenta (PEDUZZI, 1997). Os exercícios teriam como foco o aprimoramento de técnicas de aplicação de fórmulas e reprodução de operações matemáticas.

No ensino de Física em particular, e no ensino de Ciências e Matemática em geral, diversos autores defendem, com diferentes argumentos, atividades didáticas de resolução de problemas abertos. Por exemplo, para Clement e Terrazan (2012) 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). Pizzolato et al. (2014) 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 (2013) e Laburú (2003) 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 (2008, 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 (ENGHAG, GUSTAFSSON & JONSSON, 2009); iii) ao aumento da capacidade criativa dos estudantes (DIAKIDOY & CONSTANTINOY, 2001); iv) à promoção do pensamento crítico, geralmente visto como crucial para aprendizagem de Física (ERCEG, AVIANI, & MEŠIĆ, 2013); e v) à superação da falta de interesse dos estudantes, possivelmente relacionada às abordagens abstratas, desvinculada do mundo real (HUNSCHE & AULER, 2012).

É de se esperar, portanto, que algumas ações sejam feitas para proporcionar aos estudantes o enfrentamento com problemas abertos, relacionados aos eventos do

mundo real, estimulando o desenvolvimento de habilidades e competências necessárias ao processo de resolução desse tipo de problema. Salientamos, contudo, que entendemos que os problemas fechados têm uma finalidade no ensino de Física, e cumprem com um papel relevante. Neste trabalho, não temos como objetivo desqualificar os objetivos dos problemas fechados ou das atividades didáticas com implementação de tais problemas. Nossa argumentação está a favor da prática de resolução de problemas abertos, tendo em vista que tais problemas “estão mais próximos do que se imagina tanto em seu papel na construção do conhecimento quanto no trabalho científico realizado pelos cientistas” (AZEVEDO, 2010, p. 20). Os problemas abertos, por exigirem o desenvolvimento de diferentes recursos cognitivos em relação aos problemas fechados e os exercícios de aplicação, merecem maior atenção do que vem sendo dada no contexto do Ensino Médio. A seguir, apresentaremos os objetivos deste trabalho, as questões de pesquisa e a estrutura da pesquisa desenvolvida na realização desta tese.

Objetivos, questões de pesquisa e estrutura da pesquisa

Tendo em vista a importância do tema, este trabalho tem como principal objetivo ressignificar as atividades de resolução de problemas comumente aplicadas no ambiente escolar de ensino médio, levando os estudantes ao enfrentamento de problemas abertos em Física. Sob essa perspectiva, partimos da seguinte questão orientadora:

Como podemos promover atividades para o Ensino Médio relacionadas à resolução de problemas abertos, com enfoque na compreensão de teorias científicas e na construção do conhecimento científico?

Iniciamos a busca por respostas a essa questão, por uma revisão sistemática da literatura, apresentada no Capítulo 2, que, além de revelar o *status* atual das pesquisas em resolução de problemas abertos em Física, também forneceu orientações para aplicação de atividades dessa natureza nos mais variados contextos de ensino. Então, frente ao objetivo geral da pesquisa, sentimos a necessidade de iniciar com um estudo de carácter empírico, tendo os seguintes objetivos: i) vivenciar em sala de aula uma experiência didática com atividades de resolução de problemas abertos; ii) entender melhor as principais dificuldades, atitudes e crenças dos estudantes em resolução de problemas abertos.

O primeiro objetivo está relacionado ao fato do professor/pesquisador nunca ter experienciado, em sala de aula, abordagens com resolução de problemas abertos em Física, no ensino médio, embora possua relativa experiência profissional nesse nível de ensino. Como forma de compreender um pouco mais sobre o pesquisador desta tese, seus propósitos e motivações para a pesquisa no ensino de Física, faremos, na sequência, uma breve apresentação.

No primeiro semestre de 2001 ingressei no curso de licenciatura em Física pela Universidade Federal de Pelotas, com a expectativa um tanto ingênua de que estudando Física, eu seria capaz de compreender grande parte dos acontecimentos do cotidiano. Já no primeiro ano da faculdade, no segundo semestre, fui convidado a participar, como professor de Física, de um pequeno curso preparatório para o vestibular. O desafio era enorme, porque além aprender os processos envolvidos na docência daquele contexto, como a comunicação mais adequada aos estudantes e a preparação de materiais didáticos, era preciso adquirir, num pequeno espaço de tempo, certo grau de familiarização com todos os conteúdos da Física de nível médio. Aceitei o desafio, e essas primeiras ações de ensino desempenharam um papel importante para que eu seguisse os caminhos da docência.

No final do ano de 2003, passei a atuar profissionalmente em um dos maiores cursos pré-vestibulares da região sul do Rio Grande do Sul e, em 2005, iniciei minha carreira de professor em escolas particulares de Ensino Médio, nas cidades de Pelotas e Rio Grande – RS. Atuei como professor de Física em cursos preparatórios e escolas de nível médio até o final do ano de 2009. Nesse período, senti necessidade de modificar um tanto minhas abordagens didáticas.

Em 2010, ingressei como professor concursado em um Instituto Federal de Educação no estado do Rio Grande do Sul, e, simultaneamente, no Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Concluí o Mestrado Profissional em 2012, com a dissertação intitulada “Uma proposta de ensino de tópicos do Eletromagnetismo via Instrução pelos Colegas e Ensino sob Medida para o Ensino Médio”. Nesse período produzi como produto educacional um recurso digital (OLIVEIRA, ARAUJO & VEIT, 2013), cujos principais resultados de sua aplicação em turmas de Ensino Médio constam em (OLIVEIRA, ARAUJO & VEIT, 2015). Meu crescimento profissional durante o MP foi marcante, mas não saciou minha vontade de continuar me aperfeiçoando. Assim, em 2014 ingressei no Doutorado em Ensino de Física, também na UFRGS. Feito este breve relato sobre minha experiência profissional, retorno à apresentação dos estudos.

Os resultados do estudo empírico, desenvolvido com estudantes voluntários de cursos técnicos de nível médio do IFSul², nos indicaram que muitas das deficiências que eles apresentaram para progredir na resolução dos problemas abertos propostos podiam ser explicadas: i) pelo baixo grau de conhecimento de domínio específico dos estudantes, o que comprometeu o processo; ii) pelas dificuldades apresentadas na identificação e representação do problema; iii) pelas inadequadas crenças epistemológicas, relacionadas à compreensão de resolução de problemas como um processo de tentativa e erro.

² IFSul – Instituto Federal Sul-rio-grandense, Campus Pelotas.

Sob o ponto de vista teórico, duas ideias centrais identificadas na revisão da literatura dizem respeito à necessidade de situar o aprendiz como um construtor de seu conhecimento e a necessidade de levar em conta o conhecimento específico. Em particular, Jonassen (1997) alerta que todas as concepções de aprendizagem construtivista recomendam envolver os alunos na resolução de problemas autênticos, concebidos como aqueles problemas que apresentam desafios cognitivos equivalentes aos do mundo real. Enquanto os estudantes se envolvem em situações geradas nos problemas abertos, têm oportunidade de refletir, explicar, discutir ideias, dar sentido e construir conhecimento (KAPUR & KINZER, 2007).

No entanto, essa construção não ocorre no vazio; é fundamental que o conhecimento específico seja levado em consideração. Jonassen (1997) já afirmava que resolver problemas, como uma atividade completa, é mais complexo do que a soma de suas partes. Tanto a resolução de problemas fechados quanto abertos envolve um conjunto de requisitos cognitivos, denominados em grande parte da literatura por conhecimentos de domínio específico, como as leis físicas, conceitos, regras, princípios, informações proposicionais (ibid.). Porém, resolver problemas abertos envolve, quando comparados aos problemas fechados, um número maior e mais relevante de conhecimentos procedimentais, ou estruturais, que se configuram como os conhecimentos de como os conceitos dentro de um domínio estão inter-relacionados, das técnicas e estratégias que podem ser utilizadas. Além disso, o enfrentamento de problemas abertos envolve, em maior grau, conhecimentos associados a experiências cotidianas.

Embora tenham surgido algumas abordagens alternativas (e. g. TRUYOL & GANGOSO, 2010; NISS, 2012; CLEMENT & TERRAZZAN, 2012), não localizamos na literatura, uma abordagem teórica que considere uma teoria de aprendizagem e uma visão epistemológica para a resolução de problemas abertos. Em não havendo, surge a necessidade de um estudo teórico, que, além de levar em conta elementos centrais da resolução de problemas abertos, contenha uma base epistemológica, sobre como o conhecimento científico é construído, com forte ênfase em representações, e que também se preocupe com a forma como o aluno aprende, tendo potencial para fazer com que eles superem suas dificuldades e que compreendam a relação entre teoria e realidade.

No estudo teórico, construímos uma articulação teórica entre uma teoria de aprendizagem (Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud), uma visão epistemológica sobre a construção da Ciência (epistemologia de Bunge) e os elementos centrais da resolução de problemas abertos³. A escolha desses referenciais teóricos ocorreu porque reconhecemos a Modelagem Didático-Científica (BRANDÃO, ARAUJO & VEIT, 2011; 2013; BRANDÃO, 2012) como uma abordagem promissora para reunir os elementos

³ Ressaltamos que a literatura é carente de estudos socioculturais para atividades de resolução de problemas abertos.

necessários ao enfrentamento de problemas abertos em Física. Sucintamente, a Modelagem Didático-Científica (MDC) é entendida como uma versão didática de um processo de criação, exploração e validação de modelos científicos para reconstrução conceitual da realidade, por meio de representações. Para Heidemann (2015), “o enfoque no processo de modelagem científica no ensino de Ciências apresenta potencialidades tanto para promover o desenvolvimento cognitivo dos estudantes, como relações sociais colaborativas e habilidades relacionadas com questões procedimentais da resolução de autênticos problemas científicos” (ibid., p. 27).

Para Brandão (2012), a Modelagem Didático-Científica é uma abordagem didática das mais promissoras, podendo contribuir não só para a aprendizagem de conceitos científicos e para a resolução de problemas, como também para a construção de concepções e competências associadas à natureza da Ciência e às práticas científicas contemporâneas, cuja essência está na criação de modelos. Heidemann (2015) amplia o referencial teórico-metodológico da MDC, evidenciando a maneira como os conceitos, esquemas de ação e as situações vinculadas ao processo de contrastação empírica das ideias científicas se relacionam dentro do mesmo campo conceitual da Modelagem Didático-Científica. O referencial ampliado por Heidemann (ibid.) passou a ser denominado de MDC+ por Heidemann, Araujo e Veit (2018).

Os estudos desenvolvidos envolvendo a MDC e MDC+ têm sido aplicados no Ensino Superior (BRANDÃO, 2012; BRANDÃO, ARAUJO & VEIT, 2014; HEIDEMANN, ARAULO & VEIT, 2018). Como o nosso foco está no Ensino Médio, existe, então, a necessidade de se restringir a abordagem, transpondo para o nível de Ensino Médio somente alguns elementos da MDC+, sem perder a essência da base teórica e metodológica desse referencial. As situações-problema a serem construídas deverão dar sentido, simultaneamente, a campos conceituais da Física e da modelagem.

Outros autores também atribuem à modelagem um papel importante em abordagens de ensino de Ciências, e particularmente, de ensino de Física. Por exemplo, Gilbert e Justi (2018) acreditam que a modelagem contribui com o desenvolvimento de habilidades de pensamento e constitui um aspecto fundamental da natureza da Ciência, mais especificamente, de como a Ciência é conduzida e validada (ibid.). Para Blanco-Anaya, Justi e Díaz de Bustamante (2017), o uso de qualquer recurso cognitivo para responder uma questão envolve a utilização de um modelo, podendo estar mais ou menos relacionado com o modelo científico (ibid.). Em destaque, por se tratar especificamente de Física, Niss (2012) propõe que a resolução de problemas abertos pode ser vista como uma atividade de modelagem. Neste processo, a solução para um problema do mundo real é obtida, segundo Niss, por meio de modelos matemáticos construídos ou selecionados a partir do arsenal de modelos físicos (ibid.). A ideia básica do modelo proposto é que um indivíduo, ao resolver um problema de Física, deverá passar, necessariamente pelos mesmos passos que constituem o processo de modelagem (NISS, 2017).

No entanto, Niss (2012; 2017) parece não levar em conta os dois aspectos que identificamos como fundamentais na resolução de problemas abertos: 1) não apresenta uma teoria de aprendizagem, tendendo a não se preocupar com a forma como o aluno aprende; 2) deixa de lado o conhecimento específico em prol da modelagem matemática. A modelagem matemática, na forma como a educação matemática costuma desenvolver, mesmo quando requisitada para solucionar problemas que envolvem eventos da Física, tem como foco a construção de conhecimentos relacionados à estrutura matemática de um modelo ou do ato de modelar, e relega aos conceitos físicos o papel de aplicação de conhecimento.

Neste trabalho, mostramos que é possível desenvolver habilidades e competências associadas à resolução de problemas abertos, do tipo lápis e papel, encarando-as como atividades de modelagem, como sugere Niss, mas colocando a construção do conhecimento específico em primeiro plano, sob uma perspectiva construtivista. Para que isso seja possível, argumentamos a favor de uma reconfiguração estrutural dos problemas do tipo lápis e papel, para que suscitem discussões a respeito de conceitos e elementos propostos pela Modelagem Didático-Científica.

Adotamos a teoria de Vergnaud, na qual um princípio básico é que as situações dão sentido aos conceitos. Então, é a partir de situações-problemas de Física, a serem enfrentadas via modelagem, que o aluno iniciará a sua incursão na solução de problemas abertos. Não se trata de assumir que os problemas abertos podem ser resolvidos no vazio, que os alunos podem desconhecer por completo os conceitos específicos envolvidos; nem tampouco que o aluno precisa aprender primeiro os conceitos de física para somente depois começar a modelar. Trata-se de compreender que um conceito só adquire sentido a partir de situações e problemas a resolver. Então, mesclar conhecimento específicos mínimos com a solução de problemas via modelagem é uma forma de facilitar avanços no domínio do conhecimento predicativo (saber dizer) *pari passu* com o domínio do conhecimento operatório (saber fazer). Esses avanços podem ainda ser potencializados com uma abordagem socioconstrutivista, pois em colaboração com os colegas, com a ajuda do professor e com o uso de abordagens de assistência à aprendizagem (*scaffolding*), os alunos podem ter avanços ainda mais significativos, tanto no domínio dos conhecimentos específicos quanto gerais. Nunca se esquecendo, é claro, que o domínio de um campo conceitual, com alerta Vergnaud, tem avanços e retrocessos.

Além desses aspectos, precisamos pontuar que os problemas abertos inevitavelmente demandam mais tempo de aula para o seu desenvolvimento. No entanto, como argumentaremos na sequência do trabalho, possuem forte potencial para conduzir os estudantes a uma melhor compreensão entre teoria e realidade, e à construção de um amplo conjunto de conhecimentos.

A partir dos argumentos apresentados, consideramos que a Modelagem Didático-Científica se mostra promissora para auxiliar no enfrentamento de problemas

abertos em Física. À luz do referencial da MDC+ adotado para este trabalho, a questão geral de pesquisa se modificou, passando a ser:

“De que maneira os campos conceituais da Física e a Modelagem Didático-Científica podem ser integrados de forma a auxiliar o progresso de estudantes de nível médio em resolução de problemas abertos?”.

A resposta a essa questão será de natureza teórica, resultado de uma articulação teórica entre a MDC+ e o processo de resolução de problemas abertos. Nos próximos capítulos passaremos a apresentar os estudos que compõem este trabalho.

CAPÍTULO 2. REVISÃO DA LITERATURA

Tendo em vista o objetivo geral e nossa questão geral de pesquisa, procuramos inicialmente encontrar na literatura trabalhos relacionados à resolução de problemas abertos em Física. Mais especificamente, estamos interessados em analisar como vem sendo discutida a resolução de problemas abertos no ensino de Física entre janeiro de 1996 e janeiro de 2016. Tal objetivo pode ser expresso por meio das seguintes questões norteadoras:

- Qual o perfil da produção acadêmica em resolução de problemas abertos em ensino de Física entre janeiro de 1996 e janeiro de 2016?
- O que a literatura denomina 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?
- Quais as etapas para resolução de problemas abertos?
- Quais os recursos cognitivos necessários à resolução de problemas abertos apontados na literatura?
- Quais as principais dificuldades, atitudes e crenças dos alunos em relação à resolução de problemas abertos no ensino de Física? E dos professores?

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

2.1 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 ERIC⁴ (*Education Resources Information 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*”⁵, “*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 entre janeiro de 1996 a janeiro de 2016. A escolha das palavras-chave

⁴ <http://eric.ed.gov/>

⁵ Os 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.

ocorreu a partir de uma primeira leitura do artigo de Jonassen (1997), 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 2.1.

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.*

Quadro 2.1: Lista de periódicos pesquisados, classificados como A1, A2 e B1 no Qualis 2014 da Capes na área de Ensino.

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>
	<i>Teaching and Teacher Education</i>
A2	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
	<i>Revista Electrónica de Investigación em Educación em Ciencias</i>
B1	<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>

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.

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 pesquisa⁶. Como ilustração, citamos o artigo de Clement e Terrazan (2012), 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 (2000), 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. (2015), que descreve a forma como estudantes de engenharia lidam com equações diferenciais de segunda ordem em problemas de matemática. O artigo Barniol e Zavala (2014) discute as dificuldades de estudantes universitários em resolver problemas que envolvem a notação de vetor unitário. Schenoni e Stipcich (2013) 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

⁶ Mesmo com a imposição de que os descritores escolhidos estivessem presentes nos 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.

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 (JONASSEN, 1997), que chamaremos de artigo “extra”, e um livro (JONASSEN, 2010). Ao final, restaram **47** artigos selecionados para compor 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.

2.2 Qual o perfil da produção acadêmica em resolução de problemas abertos em ensino de Física entre janeiro de 1996 e janeiro de 2016?

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 2.1.

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

2.2.1 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 (CHANG et al., 2012); 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 (KAPUR & KINZER, 2007); avaliação da interação dinâmica entre os grupos em resolução de problemas abertos e fechados (KAPUR, VOIKLIS & KINZER, 2008); o discurso dos estudantes para melhor compreensão sobre quais os raciocínios dos alunos em resolução de problemas abertos (ENGHAG, GUSTAFSSON & JONSSON, 2009), 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 (KAPUR, 2008) e investigação de como é utilizada a experiência da vida diária nas discussões dos problemas (ENGHAG,

GUSTAFSSON & JONSSON, 2007). Por fim, há o artigo de Camargo e Silva (2006), que analisam uma atividade de física elaborada e aplicada a alunos com deficiência visual, buscando a solução em grupo para um problema aberto sobre colisão entre um automóvel e um trem.

Tabela 2.1: 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
	Ênfase em atividades experimentais	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

Resolução de problemas como processo de modelagem: Truyol e Gangoso (2010) 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 (2012) 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 (2012) apresenta uma pesquisa que tem 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 (2003) 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 (2005) discutem três formatos de avaliação com problemas abertos e fechados.

Ênfase em habilidades de resolução de problemas: Fortus (2009) 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. (2014) analisam as habilidades epistemológicas e eficácia de uma abordagem de investigação científica para a resolução de problemas abertos em termodinâmica; Bravo e Pesa (2005) 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 (2009) investiga possíveis mudanças nas crenças dos alunos em resolução de problemas; Chittasirinuwat, Kruatong e Paosawatanyong (2010) investigam a importância do conhecimento intuitivo e Diakidoy e Constantinou (2001), a criatividade em resolução de problemas abertos.

Desafios em resolução de problemas abertos: Hunsche e Auler (2012) 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 redimensionamento no currículo de formação de professores” (HUNSCHE & AULER, p. 17).

Efeito das abordagens de assistência à aprendizagem: Bulu e Pedersen (2010) pretendem compreender como estudantes com diferentes níveis de conhecimento prévio e processos metacognitivos 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 (2007) avaliam o desempenho dos alunos em problemas abertos depois de terem como auxílio questões-estímulo,

enquanto Ding et al. (2009) 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 (2003) 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 (2012)⁷ 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 (1995) e Halloun (2004), 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 Sousa, Moreira e Matheus (2005) 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 (2008) 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

⁷ Este trabalho será discutido no Capítulo 6, seção 6.2, em conjunto com uma publicação mais recente deste autor.

pode ser interpretado como positivo ou negativo” (GOMES, BORGES & JUSTI, 2008, 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. (2012) 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.

2.2.2 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 (WAMPLER, DEMAREE & GILBERT, 2013).

Ênfase em habilidades de resolução de problemas: problemas abertos são aplicados e avaliados para analisar e enfatizar a importância do pensamento crítico (ERCEG, AVIANI & MESIC, 2013) e da abordagem investigativa (CLEMENT & TERRAZZAN, 2011).

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 Terrazzan (2012) 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 e Alinaghizadeh (2008) 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 (2009) 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 (2015) 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 (2008) 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 (2004) 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.

2.2.3 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 (BELLUCCO & CARVALHO, 2014), de cenas de filmes (EFTHIMIOU & LLEWELLYN, 2007), de artigos históricos (BROWN & BROWN, 2014), de um acidente de trânsito (MEOLI, MARTÍNEZ & CONCARI, 2014) e de videoanálise com vídeos disponíveis na internet que mostram testes de colisões entre automóveis (WRASSE et al., 2014). Longhini e Menezes (2010) 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 (PICQUART, 2008).

Proposta de um específico problema aberto: composta por artigos que propõem um problema aberto e apresentam um modelo de solução: para questões ambientais (GREENLER, 2015), para o movimento de um carro em uma avenida com semáforos (BARKOVICH & CARREÑO, 2013), para a potência de erupção do vulcão Puyehue (ASOREY, DÁVALOS & CLÚA, 2011) e para um salto de paraquedas de grande altitude (ROBINSON & PATRICK, 2008).

2.2.4 Conteúdos de Física

Em relação aos conteúdos de Física abordados nos artigos, na Tabela 2.2, 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 (ARAUJO, VEIT & MOREIRA, 2004; LÓPEZ, VEIT & ARAUJO, 2016).

Tabela 2.2: 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	Bryan (2004); Efthimiou e Llewellyn (2007); Picquart (2008); Robinson (2008); Robinson e Patrick (2008); Ding et al. (2009); Fortus (2009); Chittasirinuwat, Kruatong e Paosawatanyong (2010); Asorey, Dávalos e Clúa (2011); Clement e Terrazzan (2011); Clement e Terrazzan (2012); Ramalho de Souza (2012); Truyol, Gangoso e López (2012); Erceg, Aviani e Mešić (2013); Bellucco e Carvalho (2014); Brown e Brown (2014); Meoli, Martínez e Concari (2014); Wrasse et al. (2014).
Termodinâmica	08	Laburú (2003); Enghag, Gustafsson e Jonsson (2007); Ogilvie (2009); Clement e Terrazzan (2011); Niss (2012); Ramalho de Souza (2012); Pizzolato et al. (2014); Greenler (2015).
Cinemática	07	Camargo e Silva (2006); Kapur e Kinzer (2007); Kapur (2008); Kapur, Voiklis e Kinzer (2008); Truyol e Gangoso (2010); Clement e Terrazzan (2011); Barkovich e Carreño (2013).
Óptica	06	Bravo e Pesa (2005); Shekoyan e Etkina (2007); Basir et al. (2008); Ogilvie (2009); Clement e Terrazzan (2011); Chang et al. (2012).
Hidrostática e Hidrodinâmica	06	Enghag, Gustafsson e Jonsson (2009); Longhini e Nardi (2009); Clement e Terrazzan (2011); Campos et al. (2012); Niss (2012); Wei e Ford (2015).
Eletricidade	05	Chang e Chiu (2005); Clement & Terrazzan (2011); Niss (2012); Wampler et al. (2013); Brown e Brown (2014).
Ondas	04	Shekoyan e Etkina (2007); Ogilvie (2009); Clement e Terrazzan (2011; 2012).
Magnetismo e Eletromagnetismo	03	Gomes de Souza, Moreira e Matheus (2005); Shekoyan e Etkina (2007); Ogilvie (2009).
Astronomia	03	Shin, Jonassen e McGee (2003); Bulu e Pedersen (2010); Longhini e Menezes (2010).
Física Moderna	01	Diakidoy e Constantinou (2001).

2.2.5 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.

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 entre janeiro de 1996 e janeiro de 2016?* 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 (2012), que implementa uma abordagem investigativa em práticas didáticas de resolução de problemas abertos. Já nos trabalhos 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 (EFTHIMIIOU & LLEWELLYN, 2007) 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 (ROBINSON & PATRICK, 2008). (A Tabela 2.1 contém informações adicionais).

Apesar da relevância do tema “resolução de problemas” e da grande quantidade de artigos em periódicos especializados de ensino, o tema específico de resolução de problemas abertos não tem recebido destaque.

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.

2.3 O que a literatura denomina 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 (1997, 2004) e Shin, Jonassen e McGee (2003) 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 (2008) 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 (2009), 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 (PEDUZZI, 1997; FORTUS, 2009; CLEMENT & TERRAZZAN, 2012). 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 (2012) e Green, Jones e Bean (2015) 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 (2013) “um problema real é em

geral um problema aberto, tendo que defini-lo e delimita-lo, formular hipótese, eleger e usar modelos apropriados, fazer simplificações adequadas e, até mesmo, negociar a solução com outro colega” (ibid., p. 63).

Fortus (2009) 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 (2007; 2009), 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 informação (EFTHIMIOU & LLEWELLYN, 2007), buscam fazer com que os alunos pensem como um cientista, desenvolvam modelos da situação problemática e produzam respostas correspondentes à realidade, afastando os alunos da abordagem tradicional de encaixe de números em equações pré-estabelecidas (ROBINSON & PATRICK, 2008). Em muitas situações, sua solução é encontrada através de uma estimativa, avaliando a viabilidade de um modelo e determinando os procedimentos necessários (ROBINSON, 2008).

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 (2005), 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 2.1 apresenta os tipos de problemas e o número de artigos em que esses problemas são predominantes.

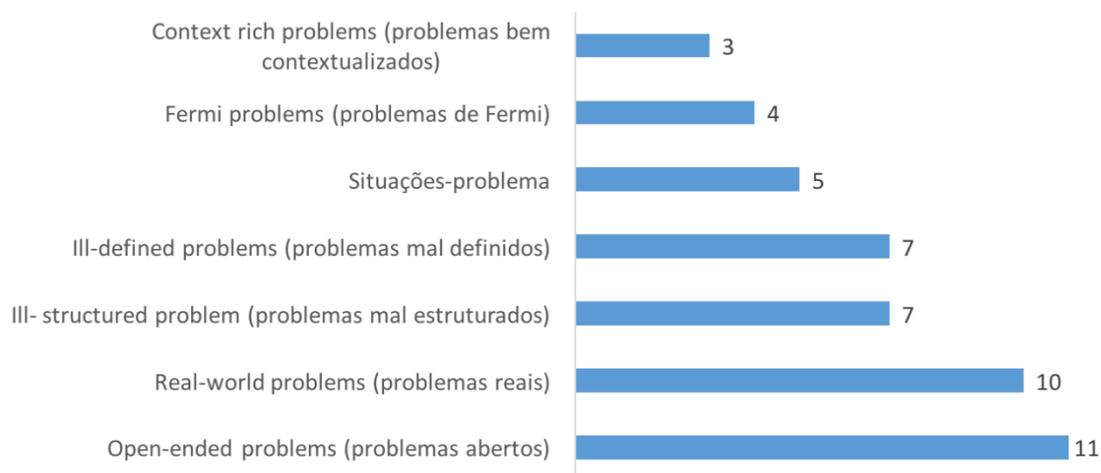


Figura 2.1: Tipos de problemas e o número de artigos em que esses problemas são predominantes, num total de 47 trabalhos (N=47).

Alguns autores argumentam que existem diferenças entre os tipos de problemas apresentados na Figura 2.1, mas não especificam quais são essas diferenças. Shekoyan e Etkina (2007) afirmam que os problemas bem contextualizados são um tipo especial de problemas mal estruturados, mas não aprofundam a discussão. Para Truyol e Gangoso (2010), 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 (2004), em que afirmam que a “resolução de problemas mal estruturados envolve o trabalho com problemas complexos, mal definidos, abertos e do mundo real” (ibid., 2004, 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 (2015), 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 (2010) 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 2.1, 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 (SHIN, JONASSEN & MCGEE, 2003).

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.

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, constante, e o carrinho B, 12 m/s, também constante. 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 equação do movimento retilíneo uniforme 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.

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. Cabe ressaltar que é possível elaborar e apresentar aos estudantes o mesmo problema, mas em diferentes graus de abertura, dependendo das informações e contextos especificados.

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 (2012) 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 (2005) 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 (KAPUR & KINZER, 2007; BULU & PEDERSEN, 2010), e referências à filosofia construtivista (CLEMENT & TERRAZZAN, 2011; 2012).

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 (2009), Heller et al. (1992), Ogilvie (2009) e Laburú (2003).

Fortus (2009) 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. (1992) 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 consiga resolver em grupo. Para Ogilvie (2009) 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 (2003) adota a metodologia de investigação de Gil Pérez et al. (1988), 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 Terrazzan (2012) não utilizem um referencial específico, fazem uso das

concepções de Gil Pérez et al. (1992) 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 (2013) 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 denomina 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; d) incerteza sobre os conceitos a serem utilizados para resolver o problema; e) 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 associado a teorias de aprendizagem e concepções epistemológicas. Há poucas e superficiais referências a fundamentos das teorias de Vygotsky. Apenas Hunsche e Auler (2012) 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 (2005) 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.

2.4 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 2.2, as metodologias e os delineamentos de pesquisa dos artigos classificados como Pesquisa (n=27). O Quadro 2.3 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 (2012), Laburú (2003) e Gomes de Souza, Moreira e Matheus (2005) são categorizados como estudo teórico e Gomes, Borges e Justi (2008) como revisão da literatura e, por isso, não constam nos quadros 2.2 e 2.3.

Quadro 2.2: 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 (2013, 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	Diakidoy e Constantinou (2001); Shin, Jonassen e McGee (2003); Pizzolato et al. (2014).
	Experimental	Chang e Chiu (2005); Kapur, Voiklis e Kinzer (2008); Bulu e Pedersen (2010); Chang et al. (2012)*.
	Quase-experimental	Bravo e Pesa (2005)*; Shekoyan e Etkina (2007).
Qualitativo	Estudo de Caso	Enghag, Gustafsson e Jonsson (2009); Fortus (2009).
	Pesquisa-Participante	Hunsche e Auler (2012)*; Ramalho de Souza (2012)*.
	Outros	Chittasirinuwat, Kruatong e Paosawatyanong (2010); Campos et al. (2012).
Métodos mistos	Sequencial	Kapur e Kinzer, (2007).
	Integrado	Camargo e Silva (2006); Enghag, Gustafsson e Jonsson (2007); Kapur (2008); Ogilvie (2009); Truyol e Gangoso (2010); Truyol, Gangoso e López (2012);
	Concomitante	Ding et al. (2009).

Quadro 2.3: 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)	-	Vídeo-filmagens; entrevistas; análise audiovisual e textual das respostas dos alunos.
Pizzolato et al. (2014)	Projeto experimental (“Missão em Marte”)	Pré/pós-teste
Enghag, Gustafsson e Jonsson (2009)	Discussões em pequenos grupos.	Vídeo-filmagens; análise das interações com os pares.
Diakidoy e Constantinou (2001)	-	Pré/pós-teste
Hunsche e Auler (2012)	-	Registros de observação; entrevistas.

Chang et al. (2012)	Discussões em pequenos grupos; ambiente computacional de aprendizagem (avaliação online de pares).	Mapas conceituais; entrevistas; pré/pós-teste.
Kapur e Kinzer (2007)	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)	Discussões em grupo; ambiente computacional de aprendizagem.	Análise das discussões entre grupos de alunos; protocolo de avaliação; ferramenta computacional de comunicação.
Kapur (2008)	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)	Discussões em pequenos grupos.	Vídeo-filmagens; análise das atitudes dos alunos em ação de resolução colaborativa dos problemas.
Camargo e Silva (2006)	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)	-	Vídeo-filmagens; análise textual.
Truyol, Gangoso e López (2012)	-	Entrevistas; vídeo-filmagens, análise textual das respostas dos alunos.
Ramalho de Souza (2012)	Metodologia de projetos.	Análise dos relatórios de atividades dos estudantes.
Shin, Jonassen e McGee (2003)	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)	-	Teste de conhecimento específico; questionário; atividades experimentais.
Bravo e Pesa (2005)	Abordagem investigativa (incluindo resolução de problemas abertos e pequenas experiências)	Pré/pós-teste; questionário.
Chittasirinuwat, Kruatong e Paosawatyanong (2010)	-	Entrevista; análise das respostas dos alunos.
Bulu e Pedersen (2010)	Ambiente computacional de aprendizagem (uso de <i>software</i> educacional); abordagens de assistência à aprendizagem	Pré/pós-teste; protocolo de avaliação; hiperfídmia ⁸ .
Shekoyan e Etkina (2007)	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)	Abordagens de assistência à aprendizagem; resolução do tipo lápis e papel.	Vídeo-filmagens; entrevistas; análise textual das respostas dos alunos.

⁸ *Software Alien Rescue*: engajar os alunos no estudo do Sistema Solar e das ferramentas e processos utilizados pelos cientistas para estudá-lo.

Campos et al. (2012)	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)	Abordagem investigativa; resolução do tipo lápis e papel.	Vídeo-filmagens; protocolo de avaliação; registros de observação; análise textual das respostas dos alunos.
Robinson (2008)	Resolução do tipo lápis e papel.	Análise textual das respostas dos alunos.
Erceg, Aviani e Mešić (2013)	-	Análise textual das respostas.
Clement e Terrazzan (2011)	Abordagem investigativa; resolução do tipo lápis e papel.	Vídeo-filmagens; análise textual das respostas dos alunos.
Wampler, Demaree e Gilbert (2013)	Discussões em grupo (<i>Peer Instruction</i>); abordagem investigativa.	Vídeo-filmagens; análise textual das respostas dos alunos; entrevista.
Basir et al. (2008)	Abordagem investigativa.	Análise textual das respostas dos alunos.
Longhini e Nardi (2009)	Resolução do tipo lápis e papel.	Análise textual das respostas.
Wei e Ford (2015)	Projeto experimental.	Questionário; atividades experimentais.
Bryan (2004)	Ambiente computacional de aprendizagem.	Ferramenta computacional de videoanálise (<i>Tracker</i>).

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 (2007) é apresentado no Quadro 2.4.

Quadro 2.4: Protocolo de avaliação utilizado para avaliar a qualidade das respostas dos estudantes a um problema aberto. Extraído de Kapur e Kinzer (2007, p. 466).

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 justificativa 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.

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 2.2 e 2.3, 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).

2.5 Quais as etapas de resolução de problemas abertos?

De maneira geral, um problema é descrito em termos de um estado inicial, um estado final desejado, e um conjunto de operações e operadores que permitem transformar o estado inicial no estado final desejado, por meio de uma série de passos discretos e estados intermediários (GOMES, BORGES & JUSTI, 2008); o que não representa um processo linear e não problemático. De fato, como constatado por Fortus (2009), o processo de resolução de problemas abertos é não-linear, diferentemente dos problemas fechados, e determinadas etapas de solução do problema demandam mais tempo e esforço do que outras.

O processo de resolução de problemas abertos é, portanto, diferente do processo de resolução de problemas fechados, por serem de naturezas diferentes (GE & LAND, 2004). É consenso na literatura, tanto na área do ensino de Física quanto para outras disciplinas, que o processo de resolução de problemas abertos passa por diferentes etapas, com diferentes características e diferentes habilidades exigidas dos solucionadores, em cada uma delas (JONASSEN, 1997; GE & LAND, 2003; SHIN, JONASSEN & MCGEE, 2003; GE & LAND, 2004; FORTUS, 2008; CLEMENT & TERRAZZAN, 2011; ANTONENKO, JAHANZAD & GREENWOOD, 2014).

Analizamos os 47 artigos que compõem nossa revisão e, em nove artigos encontramos discussões a respeito dos estágios de resolução de problemas abertos,

como apresentado no Quadro 2.5. Destacamos em uma seção anterior que Jonassen e Fortus (2009) são referenciados ou citados como autores de importantes contribuições para a definição dos problemas abertos. No entanto, como podemos perceber no Quadro 2.5, os trabalhos que utilizam esses autores como referência à definição de problemas abertos, não os seguem no estabelecimento das etapas de resolução de problemas.

Quadro 2.5: Etapas de resolução de problemas abertos.

Artigos	Etapas de resolução de problemas abertos
Bulu e Pedersen (2010);	1) representação do problema; 2) desenvolvimento e seleção de solução; 3) elaboração de justificações; 4) monitoramento e avaliação.
Niss (2012)	1) descrição e análise do problema; 2) construção da solução do problema; 3) avaliação da solução; 4) explorando a solução.
Shin, Jonassen e McGee (2003)	1) decidir se o problema existe; 2) representação do problema; 3) construção da solução do problema; 4) justificação da solução; 5) avaliação da solução.
Fortus (2009)	1) identificação do problema; 2) definição e representação; 3) elaboração de possíveis estratégias; 4) aplicação das estratégias; 5) avaliação.
Shekoyan e Etkina (2007)	1) definição do problema; 2) elaboração de suposições e possíveis soluções; 3) construção de argumentos e justificações; 4) monitoramento das opções de solução; 5) implementação da solução.
Picquart (2008)	1) considerar o interesse do problema abordado; 2) começar por um estudo qualitativo; 3) emitir hipóteses; 4) elaborar possíveis estratégias; 5) realizar a resolução; 6) analisar os resultados.
Clement e Terrazzan (2011; 2012)	1) análise qualitativa do problema; 2) emissão de hipóteses e estabelecimento de estimativas das grandezas física; 3) elaboração de estratégia(s) de resolução; 4) aplicação da(s) estratégia(s); 5) análise do(s) resultado(s); 6) elaboração de síntese explicativa.
Jonassen (1997)	1) identificação e definição do problema; 2) identificar opiniões alternativas; 3) elaboração de possíveis soluções; 4) avaliação da viabilidade de soluções alternativas; 5) monitoramento das opções de solução; 6) implementação e monitoramento da solução; 7) adaptar a solução.

Ainda no Quadro 2.5, observamos que a literatura apresenta uma pequena divergência no que diz respeito ao número de etapas para resolução de problemas abertos, variando de quatro a sete etapas. Clement e Terrazzan (2011; 2012) destacam como segundo estágio para resolução de problemas abertos a emissão de hipóteses e estabelecimento de estimativas das grandezas físicas, enquanto os outros autores

entendem que essas habilidades pertencem à etapa de elaboração de planos e estratégias de solução. Além do mais, Clement e Terrazzan (2011; 2012) consideram a elaboração de uma síntese explicativa como a última etapa do processo, semelhante ao que propõem Antonenko, Jahanzad e Greenwood (2014). Jonassen (1997) e Ng, Cheung e Hew (2010) propõem uma etapa de adaptação da solução, pois consideram que muitos problemas abertos são resolvidos em mais de uma tentativa, e suas soluções podem ser ajustadas de acordo com os resultados que vão sendo encontrados.

É importante salientar, no entanto, que grande parte dos modelos encontrados em nossa revisão apresenta características semelhantes, que podem ser agrupadas em quatro etapas, descritas na sequência: **1)** definição e representação do problema; **2)** elaboração de planos e estratégias de solução; **3)** implementação das estratégias de solução; **4)** avaliação e monitoramento do processo.

1. Definição e representação do problema: as primeiras ações na resolução de problemas abertos são definir o problema e a sua natureza, o domínio ao qual ele pertence, os principais conceitos e elementos envolvidos (JONASSEN, 1997). Uma boa definição do domínio do problema e de suas principais características são traduzidas em uma boa representação, que deve levar em consideração as principais causas e restrições para o problema. O conhecimento prévio dos estudantes é fundamental para que possam propor idealizações e estimativas para os dados que não foram informados e são necessários à resolução do problema (GE & LAND, 2003; 2004; ANTONENKO, JAHANZAD & GREENWOOD, 2014).

É bastante difundido na literatura que os especialistas (*experts*) representam problemas de maneira mais detalhada que os novatos (e.g. JONASSEN, 1997; GE & LAND, 2003; 2004). Os *experts* gastam mais tempo definindo o problema, identificando suas restrições e buscando relações com o mundo real, enquanto os novatos baseiam suas representações em características superficiais, literárias, tornando-se menos propensos a notar características e padrões significativos.

2. Elaboração de planos e estratégias de solução

A partir da representação do problema, os estudantes devem elaborar hipóteses sobre os fatores de que podem depender as variáveis buscadas (PICQUART, 2008), e estabelecer possíveis relações causais entre as variáveis (GOMES, BORGES & JUSTI, 2008). A formulação de hipóteses é fundamental para a proposição de possíveis caminhos para a resolução de problemas (KIM & PEDERSEN, 2011).

Como a resolução de problemas abertos pode exigir do aluno a construção de diferentes abordagens para o mesmo problema (JONASSEN, 1997), espera-se que eles elaborem e proponham diferentes soluções, analisando a validade de cada uma delas através da construção de argumentos, justificativas e conhecimento de domínio (SHEKOYAN & ETKINA, 2007; CLEMENT & TERRAZZAN, 2011), e decidam qual esquema é o mais útil para direcionar seu curso de ação. O “melhor” caminho de solução é aquele

que se apresenta mais viável, mais defensável, para o qual os estudantes possuem os melhores argumentos (JONASSEN, 1997).

3. Implementação das estratégias de solução

“É a etapa em que se efetua a resolução propriamente dita da situação-problema. A solução é buscada de acordo com a estratégia estabelecida na etapa anterior, chegando-se assim [...] a uma das respostas possíveis” (CLEMENT & TERRAZZAN, 2011, p. 91). Para Picquart (2008), os alunos devem buscar a solução do problema verbalizando ao máximo, fundamentando o que fazem, e evitando procedimentos carentes de significado físico.

4. Avaliação e monitoramento do processo

O monitoramento do processo de resolução de um problema aberto é o elemento que mais os diferencia dos problemas fechados (JONASSEN, 1997). O monitoramento envolve habilidades e processos metacognitivos, com os quais os alunos avaliam seus conhecimentos quanto ao que sabem em relação ao domínio, os limites desse saber e dos critérios que utilizam para buscar informações. Sob essa perspectiva, o estudante primeiro deve avaliar se o problema pode ser resolvido e se ele conhece estratégias ou processos para resolvê-lo (ibid.). Após a implementação da estratégia de solução adotada, avaliar se essa estratégia produziu uma solução aceitável dentro das restrições do problema, definidas na primeira etapa. Em outras palavras, deve avaliar até que ponto a estratégia seguida era adequada (CLEMENT & TERRAZZAN, 2011). Cabe ressaltar que os processos metacognitivos são necessários em todas as etapas de solução de problemas, mas a literatura enfatiza sua maior necessidade nessa última etapa do processo.

Para Jonassen (1997), a etapa de avaliação e monitoramento do processo de resolução de problemas abertos serve também para que os alunos aprendam, a partir dessas experiências, a extrapolar modelos de solução para novas situações, dentro do mesmo domínio. Em suas palavras:

Após testar várias soluções e selecionar o que acreditam ser o mais eficaz, os alunos devem, então, aprender a fazer inferências sobre a utilidade da solução para outros problemas. Projetar e extrapolar implicações de sua solução são essenciais para a transferência de processo para outros problemas dentro do mesmo domínio. Os resultados cognitivos desta etapa são modelos mentais com uma melhor integração do espaço do problema alcançado pela reflexão dos alunos sobre o que aprenderam (ibid., 1997, p. 83, tradução nossa).

Tendo em vista os argumentos já utilizados, podemos responder a quarta questão orientadora desta revisão: *Quais as etapas para resolução de problemas abertos?* Para responder essa questão analisamos o Quadro 2.5, construído a partir da análise de todos os artigos que discutem as etapas de resolução de problemas abertos.

Os principais processos e recursos cognitivos necessários à resolução de problemas abertos podem ser agrupados nas quatro seguintes etapas: 1) definição e representação do problema; 2) elaboração de planos e estratégias de solução; 3) implementação das estratégias de solução e 4) avaliação e monitoramento do processo.

2.6 Quais os recursos cognitivos necessários à resolução de problemas abertos apontados na literatura?

A literatura apresenta um grande conjunto de recursos cognitivos requeridos, ao longo de todas as etapas do processo, para a resolução de um problema aberto. Esses recursos podem ser detectados nas ações de um especialista em resolução de problemas abertos. Passamos a descrever alguns dos recursos cognitivos apontados nas referências consultadas.

- *Conhecimento de domínio e conhecimento procedimental (estrutural)*

É bastante difundido que os dois requisitos cognitivos para resolução de problemas abertos são o *conhecimento de domínio específico* e o *conhecimento procedimental (estrutural)* (e.g. LABURÚ, 2003; SHIN, JONASSEN & MCGEE, 2003; GE & LAND, 2004; GE, CHEN & DAVIS, 2005; CHEN & BRADSHAW, 2007; OGILVIE, 2009; BULU & PEDERSEN, 2010; NISS, 2012). Conhecimento de domínio específico é o conhecimento do conteúdo em uma área ou disciplina específica, como leis, conceitos, regras e princípios (JONASSEN, 1997); consiste no entendimento das ideias da Ciência. É de se esperar que esse tipo de conhecimento seja fundamental para resolução tanto de problemas fechados quanto de problemas abertos (SHIN, JONASSEN & MCGEE, 2003). Um dos motivos que faz com que especialistas sejam melhores solucionadores de problemas que os novatos é porque possuem o conhecimento específico mais bem organizado, constituindo uma rede de informações armazenada na memória de longo prazo, facilitando as representações e geração de soluções dos problemas (GE & LAND, 2004).

O conhecimento procedimental refere-se aos conhecimentos necessários para fazer Ciência, ou seja, os procedimentos e estratégias necessárias para obtenção de informações que levem à solução de um problema (GOMES, BORGES & JUSTI, 2008); é um conhecimento bem amplo, que abrange diversos recursos cognitivos, como elaboração e teste de hipóteses, que serão detalhados na sequência. Clement e Terrazan (2011) destacam o seguinte conjunto de habilidades de conhecimento procedimental: ilustração da situação problematizada, modelização, proposição de hipóteses e inferências, realização de estimativas de valores próximos aos reais. Para utilização efetiva dos conhecimentos procedimentais é fundamental que o estudante já disponha de um certo grau de conhecimento de domínio, a ponto de um incompleto ou insuficiente conhecimento específico ser capaz de inibir, interferir ou atrapalhar a aplicação de conhecimentos procedimentais, prejudicando o aprendizado (GOMES, BORGES & JUSTI, 2008).

- *Justificação/argumentação*

Para Jonassen (1997), o componente cognitivo mais importante na resolução de problemas abertos é a capacidade de justificar uma solução, já que os problemas abertos possuem vários caminhos possíveis de solução; então, é de se esperar que um bom solucionador de problemas considere diferentes perspectivas, justifique suas escolhas, apresente bons argumentos para defender sua solução, e avalie todo o processo. Justificação envolve a construção, refutação e comparação de uma variedade de tipos de raciocínios. Além do mais, tem potencial para engajar os alunos num processo de mudança conceitual e de modificar as suas crenças (OH & JONASSEN, 2007).

- *Elaboração e teste de hipóteses*

Temos argumentado que a resolução de problemas abertos apresenta um alto nível de incerteza, desde a definição e representação do problema até as constantes avaliações e controle das ações adotadas ao longo do processo de solução. A chave para resolver problemas abertos reside, portanto, na redução das incertezas (KIM & PEDERSEN, 2011), e uma das ações fundamentais para isso e para qualquer processo de investigação é a busca por hipóteses (GOMES, BORGES & JUSTI, 2008; KIM & PEDERSEN, 2011). Em resolução de problemas, hipóteses são proposições de possíveis relações causais entre as variáveis. Para Gomes, Borges e Justi (2008):

A hipótese inicial é baseada, geralmente, no conhecimento prévio do indivíduo sobre os temas envolvidos no problema e no seu entendimento acerca de qual é o problema. Ela pode ser originada a partir de simplificações deliberadas do problema, como a adoção de casos extremos ou limites, de aproximações e idealizações, quando os problemas enfrentados são complexos, quando o conhecimento dos sujeitos sobre a situação é insuficiente, ou quando há falta de informações fundamentais. A hipótese pode ainda ser formulada a partir de resultados de experimentos exploratórios (ibid., p. 190).

Após a geração das hipóteses, os alunos as avaliam em termos de sua plausibilidade, e caso necessário, reformulam-nas até obter um caminho de solução aceitável em relação às restrições impostas pelos problemas.

- *Elaboração e interpretação de modelos*

A resolução de problemas abertos pode ser entendida como um processo de construção e interpretação de modelos (TRUYOL & GANGOSO, 2010; NISS, 2012), no qual a situação do mundo real será inicialmente analisada, identificando o sistema físico e o fenômeno a ser modelado. Isso é feito através da identificação das características relevantes da realidade e seleção dos objetos e relações que são relevantes para a construção do modelo. “A competência de resolver problemas em Física reside principalmente na habilidade de reformular o problema em termos das representações internas dos sujeitos, usualmente chamados modelos” (TRUYOL & GANGOSO, 2010, p.

465). Os pesquisadores entendem que as representações externas dos alunos revelam os aspectos mais relevantes de suas representações internas.

Truyol, Gangoso e López (2012) concluem que é possível contribuir, por meio de estratégias de ensino, para o desenvolvimento de competências de modelagem e assim, favorecer o desempenho dos alunos em resolução de problemas abertos.

- *Estimativas, idealizações, aproximações*

Muitos autores consideram que os recursos cognitivos indispensáveis para resolver problemas abertos são a capacidade de estimar grandezas físicas compatíveis com valores típicos do mundo real, propor idealizações e aproximações plausíveis (CAMARGO & SILVA, 2006; EFTHIMIOU & LLEWELLUN, 2007; ROBINSON, 2008; FORTUS, 2009; NISS, 2012; ERCEG, AVIANI & MEŠIĆ, 2013).

Por exemplo, no caso do problema aberto que apresentamos anteriormente, sobre colisão entre dois veículos em uma autoestrada, é indispensável que o estudante em ação de resolução, dentre outras habilidades, estime a massa e a velocidade dos veículos na rodovia, idealize um tipo de colisão e aproxime os valores encontrados nos cálculos de energia.

- *Crenças epistemológicas*

Recursos epistemológicos são entendidos como os pressupostos implícitos e as crenças dos alunos sobre a natureza do conhecimento. As crenças dos estudantes podem auxiliar, por exemplo, a determinar as estratégias específicas que eles utilizam para aprender (OGILVIE, 2009). A crença dos estudantes é que resolução de problemas é mera aplicação de fórmulas e de procedimentos passo a passo para chegar a um resultado exato, sem aplicar o raciocínio a respeito de quais métodos são mais apropriados. Isso é um dos fatores que dificulta a resolução de problemas abertos. “Estudantes de Física que acreditam que o conhecimento é uma série de fatos isolados gastam seu tempo de estudo memorizando fatos, ao invés de construir uma estrutura organizada de conceitos que pudessem ser utilizados para o enfrentamento de situações novas” (ibid., p. 2).

Pizzolato et al. (2014) destacam que são referidas como crenças epistemológicas dos estudantes a maneira como eles decidem que o conhecimento é relevante para trazer para a resolução de um problema em particular. Estudos na literatura (OH & JONASSEN, 2007; PIZZOLATO et al., 2014), buscando analisar as ideias epistemológicas dos estudantes sobre a sua abordagem para a resolução de problemas e na construção de seu próprio conhecimento científico constataram que a resolução de problemas abertos e problemas fechados requerem diferentes crenças epistemológicas. Os alunos que acreditam que a capacidade de aprender de um indivíduo vem desde o nascimento, que o conhecimento é imutável, que as leis da Física, sendo expressas em termos de equações matemáticas, que dão origem à possibilidade de fazer previsões precisas, escrevem, em geral, soluções simplistas para problemas abertos.

- *Estratégias metacognitivas*

Conforme discussão anterior, resolver problemas abertos requer o uso de estratégias, reflexões e tomada de decisão nas diferentes etapas de solução, organização das informações disponíveis e alocação dos recursos necessários, exigindo que os solucionadores controlem e monitorem a escolha e a execução do processo de resolução do problema. Esses são processos metacognitivos⁹.

Embasados em diferentes estudos, alguns pesquisadores (GE & LAND, 2004; BULU & PEDERSEN, 2010; VAN OPSTAL & DAUBENMIRE, 2015) consideram a metacognição dividida em duas grandes categorias: conhecimento sobre a cognição e regulação da cognição. Conhecimento sobre a cognição refere-se aos conhecimentos dos alunos sobre o quanto eles sabem a respeito dos próprios recursos cognitivos e a compatibilidade entre eles e uma situação de aprendizagem, enquanto regulação da cognição refere-se a mecanismos de autocontrole e autorregulação durante a resolução de problemas, incluindo três habilidades que permitem aos alunos controlar e monitorar sua aprendizagem para completar uma tarefa: planejamento, monitoramento e avaliação.

De acordo com Van Opstal e Daubenmire (2015) e Bulu e Pedersen (2010), planejamento é a etapa na qual os alunos pensam sobre como eles irão realizar uma tarefa, definem os objetivos e estratégias adequadas, identificam, dentre os conhecimentos prévios relevantes, os que já possuem e aqueles que representam lacunas em seu conhecimento. Monitoramento é o elemento que permite aos alunos controlar seus próprios processos, autoavaliar seu conhecimento e as estratégias que podem utilizar na proposta de solução do problema tarefa, controlando os esforços cognitivos empregados na tarefa. Avaliação é um processo contínuo, no qual os alunos refletem sobre os objetivos do problema e as estratégias que foram utilizadas, e se poderiam ter proposto outro processo mais eficiente para a resolução do mesmo problema, de forma a melhorar o seu desempenho.

Temos agora condições para responder à quinta questão norteadora desta revisão: *Quais os recursos cognitivos necessários à resolução de problemas abertos apontados na literatura?* Para responder essa questão, analisamos exaustivamente todos os artigos que compõem esta revisão, investigando os recursos cognitivos de resolução de problemas abertos apresentados.

Do conjunto de recursos cognitivos necessários à resolução de problemas abertos, destacam-se: conhecimento de domínio, conhecimento procedimental, habilidades de justificação e argumentação, processos metacognitivos, elaboração e teste de hipóteses, elaboração e interpretação de modelos e estimativa de grandezas. A Figura 2.2 apresenta o conjunto de recursos cognitivos necessários à resolução de

⁹ Metacognição diz respeito ao conhecimento do próprio conhecimento, à avaliação, à regulação e à organização dos próprios processos cognitivos (RIBEIRO, 2003).

problemas abertos e uma estimativa da quantidade de artigos que discutem sobre tais recursos.

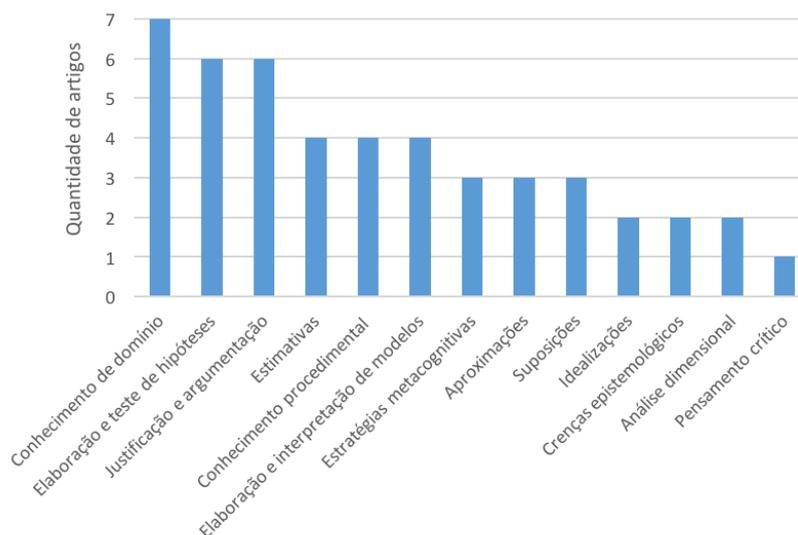


Figura 2.2: Número de artigos, de um total de 47, que discutem os recursos cognitivos necessários à resolução de problemas abertos.

2.7 Quais são as principais dificuldades, atitudes e crenças dos alunos em relação à resolução de problemas abertos no ensino de Física? E dos professores?

Em geral, os alunos novatos não possuem o conjunto de recursos cognitivos necessários à resolução de problemas abertos. Alguns estudos, que discutiremos nesta seção, indicam uma série de dificuldades dos estudantes de Física nos três níveis de ensino (Fundamental, Médio e Superior), e também de professores de Física, ao enfrentar diferentes problemas abertos. Para Niss (2012) e Enghag, Gustafsson e Jonsson (2009), as principais dificuldades dos alunos para a resolução de problemas são: a) analisar a situação inicial do problema e obter uma compreensão fundamental da situação, se constituindo, muitas vezes, como um pré-requisito para decidir quais variáveis específicas serão úteis para responder ao problema e quais conceitos e princípios da Física deverão ser aplicados; b) elaborar uma representação do problema em termos de física, que exige do estudante um determinado grau de conhecimento de domínio específico (e.g.: conhecimento de mecânica). Em especial os alunos novatos c) não realizam análise qualitativa necessária à construção de uma representação adequada. As dificuldades enfrentadas pelos estudantes nas primeiras etapas da resolução de problemas abertos se propagam para as etapas posteriores, como era de se esperar.

Belland, Glazewski e Richardson (2008) ressaltam que estudantes de diferentes níveis de ensino têm dificuldades para construir argumentos baseados em evidências. A superação de tais dificuldades requer, em grande parte, enfrentar três grandes desafios: a) representar adequadamente o problema central; b) determinar a evidência mais

relevante do problema e os elementos que precisam ser pesquisados; e c) sintetizar as informações levantadas para a construção de um argumento sólido.

Para Fortus (2009), alunos novatos em resolução de problemas apresentam grandes dificuldades em fazer suposições sobre quais quantidades físicas devem ser encontradas para a solução do problema. O autor considera fundamental que os estudantes disponham de uma capacidade de conceber, selecionar e aplicar pressupostos subjetivos para converter um problema aberto em um problema fechado, envolvendo a necessidade dos alunos em fazer suposições nas diferentes etapas de solução do problema.

Pizzolato et al. (2014) consideram que as dificuldades apresentadas pelos alunos também podem estar relacionadas a seus pontos de vista da Ciência e/ou uso inadequado de recursos epistemológicos. Tanto as dificuldades conceituais como epistemológicas sobre resolução de problemas poderiam ser superadas com a introdução dos alunos à prática do raciocínio científico através da resolução de problemas abertos. A maneira como os alunos abordam um problema ainda é a maior dificuldade ao enfrentarem problemas abertos. Muitos estudantes têm como ação rotineira a procura, em seu “manual de fórmulas”, aquela que melhor se encaixa com os dados do problema.

Laburú (2003) entende que existem problemas de base formativa dos estudantes no que se refere ao entendimento de análise dimensional das grandezas físicas, da natureza e do significado físico das constantes e parâmetros, não distinguindo variáveis e constantes nas expressões das leis e teorias científicas. Esses problemas de base formativa (associado à falta de conhecimento do domínio específico) é, naturalmente, uma grande dificuldade dos alunos para resolver problemas abertos.

É de se esperar, também, que os professores apresentem algumas dificuldades para implementar atividades de resolução de problemas abertos em suas aulas, principalmente no que diz respeito à administração do tempo de sala de aula com o tempo que demanda o processo de resolução dos problemas abertos e com a conscientização dos alunos em relação à importância de modelização do problema, reflexão, argumentação, avaliação e todos os outros recursos cognitivos que são fundamentais para que se obtenha um desempenho satisfatório na tarefa (CLEMENT & TERRAZZAN, 2012). Para melhorar a compreensão das dificuldades enfrentadas pelos professores em resolução de problemas abertos em Física entendemos que são necessários mais resultados de pesquisa.

Os estudos apresentados até aqui nos permitem responder à sexta questão norteadora desta revisão: *Quais as principais dificuldades, atitudes e crenças dos alunos em relação à resolução de problemas abertos no Ensino de Física? E dos professores?*

De maneira geral, os estudantes novatos em resolução de problemas abertos não apresentam habilidades necessárias bem desenvolvidas, o que se traduz em

dificuldades em todas as etapas do processo de solução, desde a identificação e representação dos problemas até a etapa de regulação e avaliação dos procedimentos adotados. De forma mais específica, os estudos concentram mais atenção às etapas iniciais dos problemas, como a identificação, representação e argumentação, e às deficientes crenças epistemológicas dos estudantes, compreendidas não somente à sua visão geral sobre Ciências, mas especialmente à maneira como enfrentam o processo de resolução de um problema.

Essas dificuldades podem ser superadas com mudança na postura docente e apoio instrucional adequado (e.g. SHIN, JONASSEN & MCGEE, 2003; GE & LAND, 2004; PICQUART, 2008; CHITTASIRINUWAT, KRUTONG, & PAOSAWATYANYONG, 2010; CLEMENT & TERRAZAN, 2012; HUNSCHE & AULER, 2012). Destacamos que praticamente não encontramos resultados que abordassem as dificuldades enfrentadas pelos professores em resolução de problemas abertos.

2.8 Abordagens de assistência à aprendizagem (abordagens *scaffolding*)

Durante a revisão da literatura sobre problemas abertos em Física exposta neste capítulo, deparamo-nos com alguns artigos em que os autores consideram as abordagens de assistência à aprendizagem, chamadas de abordagens *scaffolding*, um importante instrumento para auxiliar os estudantes no enfrentamento de problemas abertos. Tendo isso em vista, decidimos revisar a literatura com o objetivo de compreender melhor quais as abordagens *scaffolding* mais utilizadas para atacar os problemas abertos e de que forma essas abordagens podem auxiliar os estudantes no processo de resolução desses problemas.

Empregamos um processo de busca de artigos científicos muito semelhante ao adotado na revisão da literatura para artigos relacionados aos problemas abertos em Física. Combinamos as mesmas palavras-chave usadas na revisão anterior, em inglês, português e espanhol, com o termo “*scaffolding*” (e sem o termo “*physics*”) nas mesmas plataformas de dados e periódicos investigados anteriormente, e encontramos um total de 65 novos artigos. Adotamos, também, critérios de exclusão de artigos muito semelhantes: 1) não voltados ao ensino; 2) o tema central não está relacionado a problemas abertos. Ao final da leitura de todos os títulos, palavras-chave e resumos, ficaram 25 artigos de abordagens *scaffolding*, relacionados a diferentes áreas do conhecimento, que não Física. Contando que quatro artigos relacionados a Física também discutem as abordagens *scaffolding*, um total de 29 artigos são analisados nessas abordagens de apoio instrucional.

De acordo com alguns pesquisadores, é preciso de apoio instrucional para que os estudantes progredam na obtenção de competências de resolução de problemas abertos (SHIN, JONASSEN & MCGEE, 2003; GE & LAND, 2004; DING et al., 2009; BULU & PEDERSEN, 2010; CHITTASIRINUWAT, KRUTONG & PAOSAWATYANYONG, 2010). Propor aos estudantes acostumados a resolver problemas fechados que, abruptamente,

passem a resolver problemas abertos é insuficiente, tendo em vista suas complexidades, a deficiência dos alunos em grande parte das habilidades necessárias para propor solução a problemas abertos e as dificuldades enfrentadas pelos alunos novatos nesse tipo de problema. Diferentes elementos de apoio instrucional são necessários para tornar o processo de resolução de um problema mais acessível e gerenciável para os alunos novatos (GE, CHEN & DAVIS, 2005; GE & ER, 2005; DONDLINGER et al., 2015)

No âmbito desta revisão, apoio instrucional é entendido como qualquer elemento do conjunto de abordagens *scaffolding*, que são definidas como um suporte temporário fornecido pelo professor, por um colega, ou outro recurso, que permite aos alunos realizar tarefas que não poderiam ser executadas de forma independente (BELLAND, GLAZEWSKI & RICHARDSON, 2008; BULU & PEDERSEN, 2010); podem ser utilizados para auxiliar os alunos a ativar esquemas, organizar e recuperar conhecimento, acompanhar, avaliar e refletir sobre sua aprendizagem (GE & LAND, 2004). São abordagens que fornecem ao professor *feedback* sobre maneiras de pensar do estudante, se tornando, assim, “uma dinâmica e um processo colaborativo entre professores e alunos” (RENNINGER et al., 2005, p. 152). Em outras palavras, essas abordagens são elaboradas para diminuir “a distância entre o que o aluno entende e o que ainda precisa ser entendido” (ibid., p. 153). Direcionadas à resolução de problemas, as abordagens *scaffolding* transpõem os alunos de problemas algorítmicos, fechados, para problemas abertos, incentivando o processamento mais robusto dos conceitos (GREEN, BEAN & PETERSON, 2013).

As abordagens de assistência à aprendizagem são bem sucedidas em promover profunda aprendizagem (GREEN, JONES & BEAN, 2015); aprimoram tanto os processos cognitivos quanto os metacognitivos e podem ser utilizadas com sucesso em resolução de problemas (GE & LAND, 2004); têm potencial para ajudar os alunos a realizar um conjunto de tarefas com grau de dificuldade além do que são capazes de realizar individualmente, fornecendo-lhes suporte “a) conceitual (o que considerar); b) metacognitivo (como gerir o processo de aprendizagem); c) procedimental (como usar as ferramentas) e d) estratégico (quais estratégias usar para abordar o problema), podendo auxiliá-los a resolver problemas abertos” (BELLAND, GLAZEWSKI & RICHARDSON, 2008, p. 407). Ge, Planas & Er (2010) concluíram que as abordagens *scaffolding* (questões-estímulo, revisão por pares e modelagem de especialistas) foram eficazes em melhorar o processo de investigação dos alunos e suas performances em resolução de problemas.

A Tabela 2.3 apresenta os principais tipos de abordagens *scaffolding* e a quantidade de artigos em que elas são discutidas, no conjunto dos 29 artigos desta revisão sobre o tema. É importante salientar que alguns artigos discutiram mais de um dos tipos de abordagens de assistência à aprendizagem, como por exemplo, o artigo de Ge, Planas & Er (2010), que apresentou uma pesquisa sobre o efeito das questões-estímulo, revisão por pares e modelagem de especialistas em resolução de problemas

abertos para alunos de Ensino Superior. Dessa forma, tal artigo, e outros com a mesma característica, foram contabilizados em mais de uma categoria dos tipos de abordagens *scaffolding*.

Tabela 2.3: Principais tipos de abordagens *scaffolding*.

Tipos de abordagens <i>scaffolding</i>	Quantidade de artigos
Questões-estímulo (<i>question-prompts</i>)	17
Interação por pares (<i>peer interaction</i>)	08
Modelo de especialistas	05
Dicas, pistas, orientações	04
Iniciadores de sentença (<i>sentence openers</i>)	02

A seguir, apresentaremos uma breve discussão em relação a cada um dos tipos de abordagens *scaffolding* listados na Tabela 2.3.

Questões-estímulo (*Question prompts*): as questões-estímulo funcionam como diretrizes organizadoras para resolução de uma tarefa. Para Ge, Planas & Er (2010), as questões-estímulo servem para orientar os alunos para aspectos importantes da resolução de problemas, conduzindo-os à elaboração, explicação e justificação, facilitando a automonitorização na resolução. As pesquisas sobre as questões-estímulo (ou apoio imediato) incluem questões conceituais de investigação, dicas, lembretes, iniciadores de sentença. Esse apoio imediato foi considerado eficaz para facilitar a resolução de problemas abertos, incluindo representação do problema, desenvolvimento de solução, elaboração de justificativas e monitoramento e avaliação (GE & LAND, 2003; 2004). Ge e Land desenvolveram um quadro conceitual com algumas questões-estímulo para auxiliar na resolução de problemas abertos, como mostra o Quadro 2.6.

As questões-estímulo podem ser fornecidas pelo professor ou elaboradas pelos alunos. Em ambos os casos, os alunos serão estimulados a monitorar e avaliar cada etapa do processo de resolução do problema (GE, CHEN & DAVIS, 2005).

Interação com os pares: é uma forma de colaboração que auxilia no ensino recíproco, no qual um estudante recebe ajuda de outro colega, reorganizam informações, corrigem equívocos e desenvolvem novas compreensões, participando conjuntamente na construção de ideias, resolução de conflitos e negociação de significados (GE & LAND, 2004; GE & ER, 2005). Alunos que resolvem problemas abertos interagindo com seus pares tendem a obter melhor desempenho do que os alunos que trabalham individualmente (GE & LAND, 2003). Contudo, essas interações podem ser em nível muito básico, se não forem enriquecidas por instrução (GE & LAND, 2004).

Uma das formas de interação com os pares é a *revisão por pares*, que permite aos alunos ver múltiplas perspectivas e diferentes abordagens para resolver problemas.

O objetivo é que os alunos avaliem as respostas de um dos colegas de seu grupo para o problema proposto, fornecendo *feedback*, e revejam a sua própria resposta, podendo incluir novos *insights* no processo de resolução (GE & ER, 2005).

Quadro 2.6: Exemplos de questões-estímulo, adaptado de Ge e Land (2004).

Etapa de resolução do problema	Exemplos de questões-estímulo
Representação	<ul style="list-style-type: none"> - Qual o fenômeno representado no problema? - Todas as informações necessárias foram dadas? Se não, quais estão faltando? - Quais os elementos mais importantes do problema? - Você saberia explicar o significado de?
Elaboração de planos e estratégias de solução	<ul style="list-style-type: none"> - Quais as consequências se ...? - Quais as etapas de sua proposta de solução? - Você conhece outra abordagem para solucionar o problema? Quais as diferenças entre elas? - Qual a sequência de raciocínio que você utilizou para selecionar o processo de resolução? - Como você justifica sua decisão?
Implementação das estratégias de solução	<ul style="list-style-type: none"> - Quais são os prós e contras dessa solução? - Você possui evidências para apoiar sua solução?
Avaliação e monitoramento	<ul style="list-style-type: none"> - Eu identifiquei todas as restrições do problema? - O que poderia ter sido diferente? - Eu compreendi o fenômeno como um todo? - Sei avaliar a relevância dos resultados? São valores possíveis, num contexto real?

Segundo Ge e Land (2003; 2004), as interações com os pares, assim como as questões-estímulo, também podem auxiliar a reduzir as dificuldades dos alunos nas diferentes etapas do processo de solução de problemas abertos. A abordagem colaborativa pode contribuir para que a atenção do grupo se volte para as características e padrões mais relevantes do problema, proporcionando representações mais ricas para os problemas. A interação com os pares também auxilia na construção de conhecimentos e gera melhores soluções em relação ao trabalho individual, mas, para que a interação produza resultados positivos, os alunos devem estar ativamente envolvidos, negociando significados. Além do mais, a colaboração entre os alunos cria um contexto de discussão em relação ao conteúdo e procedimentos, oferecendo um ambiente propício para a construção de argumentos e justificativas. Por fim, a interação

com os pares pode auxiliar os alunos a monitorar e avaliar suas ações ao expor suas perspectivas.

A interação com os pares associada às questões-estímulo é potencialmente mais eficiente como auxílio em resolução de problemas abertos do que apenas interação com os pares sem qualquer forma de orientação (GE & LAND, 2004). Esses autores apresentam um quadro conceitual com diferentes tipos de discurso exigidos na interação com os pares e sugestão de estratégias para promover discurso em alto nível intelectual entre os alunos. Essas estratégias podem ser: a) orientar o discurso entre os pares usando questões-estímulo; b) promover geração de questões-estímulo através do questionamento entre os pares e c) utilizar ferramentas *online* para incentivar o discurso entre os pares. Alguns tipos de discursos envolvidos nessas interações são: explicação, elaboração, justificação de pontos de vista, fornecimento de *feedback*, questionamento de raciocínio, articulação de raciocínio, fornecimento de sugestões, dentre outros.

Modelagem de especialistas: ocorre quando o professor apresenta soluções para um problema aos estudantes, dando-lhes oportunidade para observarem os processos desenvolvidos por um especialista na ação de resolução de problema. “Este mecanismo serve para modelar o raciocínio em termos de representação do problema, articulando justificativas, tomando decisões, chegando a soluções, monitorando e avaliando o processo de resolução de problemas” (GE & ER, 2005, p. 147). A comparação entre as diferentes etapas e processos utilizados na solução, permite aos estudantes avaliar e ajustar as suas ações.

Iniciadores de sentença: são similares as questões-estímulo, pois orientam os estudantes nos processos de resolução do problema fornecendo dicas específicas. Diferentemente das questões-estímulo, os iniciadores de sentença fornecem menos suporte e requerem mais reflexão. (BULU & PEDERSEN, 2010).

Ng, Cheung & Hew (2010) apresentam exemplos de iniciadores de sentença utilizados no auxílio de resolução de problemas abertos em plataformas *online*. Eles podem ser propostos nas diferentes etapas da solução do problema, como mostra o Quadro 2.7.

Alguns pesquisadores consideram que a implementação de atividades de resolução de problemas abertos no ensino de Física passa pela necessidade de se repensar o papel docente (LABURÚ, 2003; GE & LAND, 2004; HOEK & SEEGERS, 2005). Segundo Ge e Land (2004), o papel do professor no processo de implementação de atividades de resolução de problemas abertos está, em grande medida, em fornecer apoio instrucional aos estudantes. Esse apoio pode ser de duas naturezas: a) apoio didático (que pode ser conceitual, metacognitivo, estratégico) planejados com antecedência, com base nas dificuldades geralmente apresentadas pelos estudantes; b) apoio dinâmico e situacional, que requer que o professor faça, continuamente, o

diagnóstico do aluno e forneça o apoio instrucional adequado às ações e dificuldades apresentadas pelos alunos.

Quadro 2.7: Exemplos de iniciadores de sentença para cada etapa do processo de resolução de problemas abertos. Adaptado de Ng, Cheung e Hew (2010).

Etapas da resolução de problemas abertos	Iniciadores de sentença
Definição e representação do problema	O problema é Minha sugestão é Os conceitos relacionados são
Elaboração de planos e estratégias de solução	Por exemplo Porque No entanto A explicação é Eu concordo que Eu gostaria de sugerir que Poderei estimar que
Implementação das estratégias de solução	Esta estratégia é melhor porque De acordo com Por exemplo
Avaliação e monitoramento do processo	Os resultados são A explicação é Concordo com Por favor, esclareça

Por fim, ressaltamos que as abordagens *scaffolding* como apoio à aprendizagem se estende a muitas áreas do conhecimento e que nossa revisão da literatura, com todas as restrições que impomos nos campos de busca dos periódicos e das plataformas eletrônicas, obteve apenas pequena amostra do que existe.

Em síntese, esta revisão da literatura apresentou diversas orientações para se trabalhar com resolução de problemas abertos no ensino de Física. É muito importante lembrar que não pretendemos, neste trabalho, negar a utilidade e relevância dos problemas fechados no ensino de Física. Nosso objetivo é argumentar a favor da inserção dos problemas abertos no cenário educacional de nível médio, a partir de uma resignificação de atividade de resolução desses problemas.

Para o planejamento e implementação de nossos estudos, levamos em conta algumas delas. Em especial, no primeiro estudo, consideramos:

i) apresentar aos estudantes problemas em ordem crescente de abertura e grau de dificuldade (GE, CHEN, & DAVIS, 2005; DONDLINGER et al., 2015). Alguns dos problemas abertos encontrados na literatura foram utilizados na íntegra em nosso estudo empírico, enquanto outros adaptados ou serviram de inspiração para elaboração de novos problemas.

ii) utilizar três tipos de abordagens de assistência à aprendizagem, quais sejam: modelagem de especialistas, interação por pares e questões-estímulo, ao estilo do que sugere Ge e Land (2003; 2004).

iii) utilizar entrevistas individuais, protocolo de avaliação e análise textual das respostas dos alunos, como forma de avaliar os procedimentos mais comuns adotados por eles no enfrentamento dos problemas abertos propostos, de suas crenças, atitudes e desempenho. Tais orientações são inspiradas nos trabalhos presentes no Quadro 2.3.

iv) levar em consideração o posicionamento e as dificuldades dos estudantes em resolução de problemas, para o planejamento e implementação do estudo (ENGHAG, GUSTAFSSON & JONSSON, 2009; NISS, 2012).

O próximo capítulo é dedicado à apresentação dos referenciais teóricos que sustentam este trabalho: concepções de Jonassen a respeito dos problemas abertos, evidenciando suas principais características e elementos; e os fundamentos teóricos da Modelagem Didático-Científica (HEIDEMANN, ARAUJO & VEIT, 2018), elaborada a partir da costura teórica entre a teoria dos campos conceituais de Vergnaud e as concepções de Bunge sobre modelagem científica (BRANDÃO, ARAUJO & VEIT, 2010).

CAPÍTULO 3. REFERENCIAIS TEÓRICOS

Na primeira seção deste capítulo discutiremos as concepções de Jonassen para o processo de resolução de problemas abertos, que podem ser consideradas como ponto de partida teórico para os problemas abertos. Na segunda seção, apresentaremos os fundamentos da Modelagem Didático-Científica, construído a partir de uma costura teórica entre as concepções epistemológicas de Bunge e dos princípios da teoria de aprendizagem de Vergnaud, que se constituirá no referencial teórico e epistemológico desta tese.

3.1 Concepções de Jonassen para resolução de problemas abertos

Tanto em ambientes acadêmicos, profissionais como cotidianos existem muitas concepções para “problemas”, podendo apresentar uma conotação de “dilema”, “obstáculo”, “situação”, “dificuldades”, dentre outras (JONASSEN, 2010). Para o escopo desta tese, utilizaremos a noção de que um problema é “uma incógnita que resulta de qualquer situação em que uma pessoa procura satisfazer uma necessidade ou alcançar um objetivo” (JONASSEN, 1997, p. 66, tradução nossa). Nesse sentido, Picquart (2008; apud KRULIK & RUDNICK, 1980) define problema como uma situação, quantitativa ou não, que requer uma solução para a qual os indivíduos implicados não conhecem meios ou caminhos evidentes para obtê-la. Além disso, de acordo com Jonassen (2010), um problema só será considerado como um verdadeiro problema quando houver, por parte do solucionador, um sentimento de necessidade de encontrar uma solução.

Segundo Jonassen (1997; 2004; 2010), os problemas encontram-se em um contínuo entre problemas fechados (*well-structured problems*) e problemas abertos (*ill-structured problems*). Enquanto os problemas abertos estão presentes em nossos cotidianos e contextos profissionais, a maioria dos problemas encontrados na educação formal são fechados. Para Jonassen, os problemas fechados têm as seguintes características:

- apresentam toda informação necessária para sua representação;
- exigem aplicação de um número limitado de regras e princípios, organizados de forma preditiva e prescritiva;
- possuem respostas corretas;
- possuem um conjunto limitado de operadores lógicos.

Os problemas abertos, por outro lado, apresentam as seguintes características:

- um ou mais dos elementos do problema são desconhecidos;
- normalmente requerem a integração de vários conhecimentos conceituais;
- diferentes formas de representação;

- diferentes soluções e caminhos de solução, e por isso há incerteza sobre quais conceitos, regras e princípios são necessários e como eles devem ser organizados.
- na maioria dos casos, exigem que em algum momento os estudantes façam julgamentos e expressem opiniões pessoais sobre o problema.

A estruturação dos problemas está significativamente relacionada à situacionalidade; os problemas fechados são, em geral, mais abstratos e descontextualizados e não situados em algum contexto significativo, dependendo mais de regras definidas e menos de contextos. Já os problemas abertos são exatamente o oposto; são inseridos em contextos do mundo real, ou inspirados nele.

No contínuo do grau de abertura dos problemas, Jonassen classifica alguns tipos de problemas, como mostra a Figura 3.1. As principais características de cada tipo de problema podem ser sintetizadas como segue.

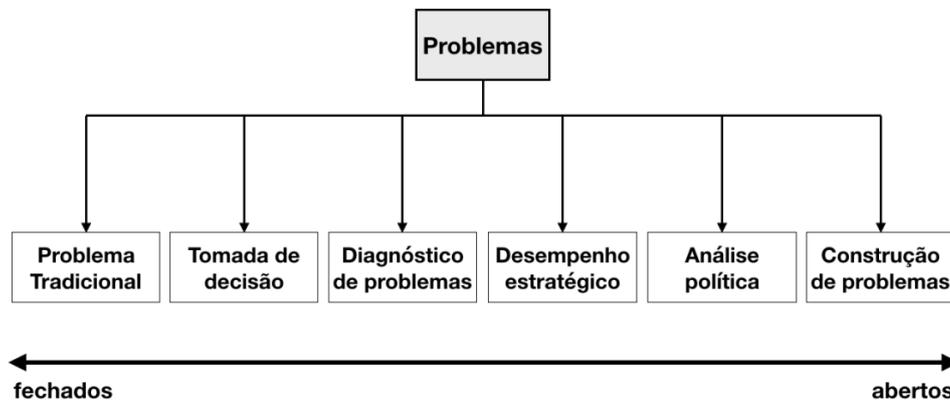


Figura 3.1: Classificação de problemas. Adaptada de Jonassen (2010).

- *Problemas tradicionais:* mais comuns no ensino formal. Na tentativa de resolver esse tipo de problema, em geral, os alunos: 1) procuram palavras-chave; 2) selecionam a(s) fórmula(s), com base nas palavras-chave; 3) aplicam a(s) fórmula(s).
- *Problemas de tomada de decisão:* mais comum em nossas vidas diárias. Estão relacionados com as inúmeras e diferentes decisões cotidianas, geralmente em momentos de lazer. Tomada de decisão pressupõe análise de opções, determina critérios para avaliar a opção mais adequada e selecionar uma alternativa. O autor considera que esse tipo de problema tem alguma utilidade no contexto educacional, como auxiliar os estudantes a tomar decisões confiáveis.
- *Problemas de diagnóstico (diagnosis problem):* normalmente estão associados com a reparação de sistemas físicos, mecânicos ou eletrônicos. São problemas moderadamente abertos, que exigem profundo nível de conhecimento do sistema a ser solucionado; exigem que seja feito um julgamento sobre a natureza dos problemas, variando significativamente de complexidade de acordo com o sistema (e.g. fabricante, tipo de motor, etc.).

- *Problemas de desempenho estratégico (strategic-performance problem)*: exigem tomada de decisão que requerem experiência de profissionais capacitados. Podem incluir tarefas de tomada de decisão, como as de: a) um comandante militar que conduz as tropas em um campo de batalha; b) enfermeiros que cuidam de pacientes em tratamento intensivo; c) professor que lida com turmas de muitos alunos.
- *Problemas de análise política (policy-analysis problems)*: são relacionados com decisões políticas, como: a) a localização de uma nova escola a ser construída; b) a determinação de quais programas educacionais serão beneficiados com maior quantidade de verba.
- *Problemas de delineamento (design problem solving)*: são os mais complexos e abertos. Em praticamente todas as profissões, a maioria dos profissionais está envolvida em algum tipo de projeto, como programação de um *software*, concepção de um edifício e elaboração do *design* de um carro ou qualquer um de seus componentes. Podem ser entendidos como problemas que exigem inovação, criação de novos produtos ou aperfeiçoamento de componentes já existentes.

Jonassen entende que resolver problemas abertos exige um conjunto de habilidades diferentes de resolver problemas fechados. Em favor dessa argumentação, ressaltamos o trabalho de Shin, Jonassen e McGee (2003), que compararam a habilidade de resolver problemas abertos e fechados de 124 estudantes de Ensino Médio, num ambiente multimídia de resolução de problemas em Astronomia, e concluíram que: i) o conhecimento específico, bem integrado, bem estabelecido, é fundamental tanto para a solução de problemas abertos quanto fechados; ii) os problemas fechados não requerem forte conhecimento da cognição (processos metacognitivo) e não despertam características como atitude positiva em relação à resolução de problemas e motivação. Se os alunos possuem experiências anteriores com um tipo específico de problema, serão capazes de ativar o esquema correto da sua memória e imediatamente resolver o problema sem o uso de estratégias gerais; iii) os bons solucionadores de problemas abertos que exigem aplicação de conhecimentos baseados em casos ou aplicações de experiências anteriores são capazes de justificar sua decisão. Essa habilidade de justificação é um componente essencial para a resolução de problemas abertos. Alunos solucionadores desse tipo de problema são capazes de regular sua cognição, incluindo habilidades de planejamento e monitoramento. Uma vez que a situação-problema é incerta, é preciso usar o processo de monitoramento e planejamento para sua solução, observando suas limitações e os efeitos de seus esforços e iv) a atitude científica também está presente na resolução de problemas abertos. v) a solução de problemas abertos, requer, portanto, que os alunos possuam não apenas o conhecimento necessário, mas também condições de regulação da cognição, incluindo modificação de planos, reavaliação de metas e monitoramento dos próprios esforços cognitivos; vi) uma parte essencial da instrução de resolução de problemas deve ser a exigência de que os alunos justifiquem suas posições. Para

Jonassen, “claramente mais pesquisas são necessárias para fundamentar essas diferenças, mas parece que uma solução de problemas fechados e abertos envolve processos cognitivos substantivamente diferentes” (JONASSEN, 2010, p. 8).

A resolução de problemas abertos, segundo Jonassen (1997), pode ser pensada como um processo de construção, não uma busca sistemática de solução de problemas. É uma experiência na qual o solucionador se envolve em um diálogo com os elementos do problema a ser resolvido. Neste modelo, os solucionadores de problemas devem reconhecer as perspectivas divergentes, coletar evidências para apoiar ou rejeitar propostas, e sintetizar seu próprio entendimento da situação, em vez de buscar uma solução pronta, automatizada.

Para o autor, o processo de implementação de atividade de resolução de problemas abertos, no cenário escolar, deve seguir alguns procedimentos, em diferentes estágios. Num primeiro momento, é preciso determinar se o problema existe e, em seguida, determinar a natureza do problema. Esses problemas exigem que os solucionadores agrupem uma grande quantidade de informações relevantes relacionadas com o problema. Um segundo momento requer identificar quais são os elementos importantes na situação-problema e quais são seus objetivos. Para compreender a complexidade do problema, os alunos devem perceber e conciliar as diferentes interpretações dos fenômenos envolvidos. Em seguida devem gerar possíveis soluções para o problema e, na sequência, avaliar a viabilidade da solução escolhida por construção de argumentos e articulação de crenças pessoais. A próxima etapa consiste em monitorar as opções de soluções, um processo que exige alguns processos metacognitivos, como planejamento de estratégias. Como última etapa, devem implementar e monitorar a solução, avaliando, ao final, se os resultados encontrados são aceitáveis, se seria possível atingir o mesmo efeito por caminhos mais simples e elegantes. O Quadro 3.1 sintetiza as etapas de implementação de resolução de problemas abertos no cenário escolar, segundo proposta de Jonassen (1997).

Quadro 3.1: Implementação de resolução de problemas abertos. Adaptado de Jonassen (1997).

Elaborador/desenvolvedor (professor)	Alunos
Articula o domínio do problema Introduce as restrições do problema Localiza, seleciona e desenvolve casos Apresenta aos alunos	Articulam os objetivos/Verificam o problema Relacionam os objetivos do problema com seu domínio; Analisam alternativas; Geram soluções para o problema
Fornece recursos de conhecimento Auxilia na construção dos argumentos	Reúnem provas para apoiar/rejeitar posições Constroem argumentos Implementam e monitoram soluções
Avalia a solução do problema	

3.2 Modelagem Didático-Científica

A Modelagem Didático-Científica (MDC+) (HEIDEMANN, 2015; HEIDEMANN, ARAUJO & VEIT, 2018) foi concebida a partir da expansão do embasamento teórico da modelagem didático-científica de Brandão, Araujo e Veit (2011). Essa, por sua vez, foi estabelecida a partir de uma articulação teórica entre a teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud e as concepções epistemológicas de Mario Bunge (BRANDÃO, 2012; BRANDÃO; ARAUJO & VEIT, 2011; 2014; 2018).

Modelagem é entendida como o processo através do qual criamos, validamos, usamos ou exploramos modelos científicos para reconstruir conceitualmente a realidade através de representações (BRANDÃO, 2012). Para descrever um determinado fenômeno, o modelador escolhe os elementos principais que farão parte do modelo e aqueles que podem ser desprezados na descrição dos fatos. Segundo Bunge (1974), não há outra forma de se obter uma imagem simbólica dos fenômenos do mundo real, se não pela construção de modelos simplificados. Converter fenômenos e sistemas reais, com toda a sua complexidade, em representações conceituais, que Bunge chamou de objeto-modelo (ou modelo conceitual), buscando, progressivamente, expandir esses modelos em versões mais ricas e mais fiéis aos fatos, é a única forma de se compreender a realidade.

Brandão, Araujo e Veit (2011) defendem a tese de que a modelagem científica deve ser vista como um campo conceitual subjacente aos campos conceituais da Física. Para compreender o significado dessa tese partimos da ideia que a Física, via de regra, utiliza modelos científicos como forma de representar a realidade. Tais modelos científicos, por sua vez, empregam representações simbólicas e elementos conceituais. Isso significa dizer que a compreensão dos conhecimentos de Física exige do indivíduo habilidades em manipular representações simbólicas e identificar aspectos conceituais relacionados ao campo da Física (ibid.). Tendo em vista que a modelagem científica permeia toda a Física, é consequência natural considerar que elementos da modelagem científica deverão aparecer, em algum grau, nas explicações científicas (idem.).

Os conceitos que envolvem modelagem científica e as relações entre eles formam a Estrutura Conceitual de Referência (ECR), ilustrada na Figura 3.2, que, juntamente com os esquemas de pensamento de um sujeito em situação de modelagem, compõem o campo conceitual da modelagem científica em Física.

À luz da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, o campo conceitual da modelagem científica em Física é formado:

i) pelo conjunto, S, de situações que dão sentido aos conceitos associados à noção de modelo e ao processo de modelagem científica em Física; ou seja, o conjunto de situações que podem ser analisadas e solucionadas por meio da construção e/ou exploração de uma versão, mais ou menos didática, de um modelo científico, capaz de aproximar

teoria e realidade, e de dar sentido às dificuldades observadas no processo de conceitualização do real, no contexto da Física;

ii) pelo conjunto, *I*, de invariantes operatórios de caráter geral, associados à noção de modelo e ao processo de modelagem científica em Física, e de caráter específico, associados aos conceitos da ECR, que podem ser reconhecidos e usados pelo sujeito para analisar as situações do primeiro conjunto, denominadas situações de modelagem em Física;

e

iii) pelo conjunto, *R*, de representações simbólicas que podem ser usadas para indicar esses invariantes e, conseqüentemente, representar as situações e os procedimentos de modelagem para lidar com elas; esse conjunto é fortemente dependente do campo conceitual específico da Física em que o sujeito esteja modelando (BRANDÃO, ARAUJO & VEIT, 2014, p. 4 – 5).

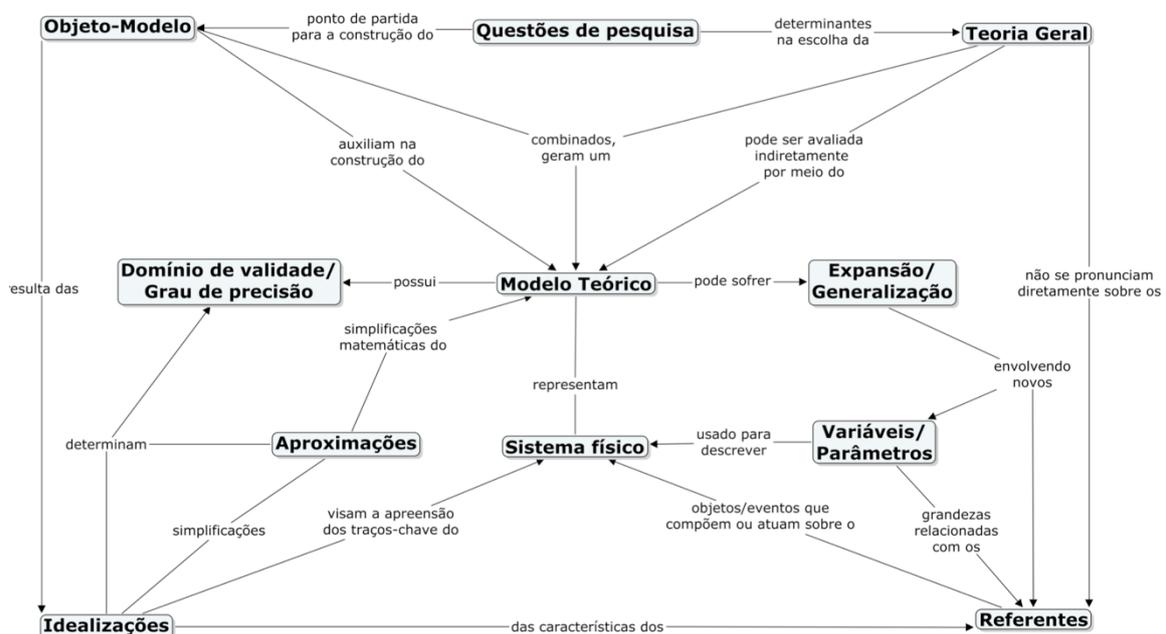


Figura 3.2: Estrutura Conceitual de Referência para o processo de modelagem científica no contexto da Física. Retirado de Brandão, Araujo & Veit (2010, p. 673).

Dessa forma, a modelagem científica em Física pode ser entendida como uma estratégia teórico-metodológica com potencial para sustentar as ações de um indivíduo em situações que demandem mediação entre teoria e realidade (ibid.). Para fins didáticos, essa estratégia é chamada de modelagem didático-científica. Em outras palavras, a modelagem didático-científica se caracteriza por trabalhar com versões didáticas de modelos científicos.

Em situação de modelagem, alguns conhecimentos relacionados a modelos e modelagem deverão ser postos em ação, pelo sujeito. Na perspectiva de Vergnaud, esses conhecimentos são chamados de invariantes operatórios. “Eles constituem a base conceitual, implícita ou explícita, que permite selecionar as informações relevantes, inferir o objetivo a ser alcançado e os procedimentos mais adequados durante o processo de modelagem” (BRANDÃO, ARAUJO & VEIT, 2011, p. 529). Brandão, Araujo e

Veit (ibid.) identificaram invariantes operatórios do campo conceitual da modelagem didático-científica, relacionados aos conceitos de carácter geral e específico da ECR da Figura 3.2. A seguir, dissertaremos, em linhas gerais, sobre a Estrutura Conceitual de Referência, buscando relacionar seus principais conceitos aos invariantes operatórios identificados pelos autores.

O ponto de partida na construção de um modelo teórico é a questão de pesquisa que se pretende investigar. Para Bunge (1974), “*faz-se ciência [...] formulando questões claras, imaginando modelos conceituais das coisas, às vezes teorias gerais e tentando justificar o que se pensa e o que se faz [...]*” (ibid., p. 13). Nesta primeira etapa, o seguinte invariante operatório deverá ser colocado em ação pelo sujeito: *formular questões sobre uma situação física a serem respondidas pela construção e/ou exploração de um modelo científico*.

Na etapa seguinte, delimita-se o evento a ser estudado, identificando os referentes que fazem parte do sistema físico em estudo ou que sobre ele atuam. Aqui já deve-se manifestar outro invariante operatório: *delimitar objetos e eventos reais, ou supostos como tais, que compõem o sistema físico e sua vizinhança e que serão alvo de representação* (BRANDÃO, ARAUJO & VEIT, 2011, p. 529). Para iniciar a representação esquemática dos referentes físicos impõem-se idealizações, à luz da teoria adotada, para simplificar o tratamento do problema. Nesse processo já se percebe um distanciamento entre o sistema real, com toda sua riqueza e complexidade, e o sistema simplificado, que tenta conservar as características avaliadas como principais do evento real. Dessa forma, “*dado um sistema físico, decidir quais dos seus traços-chave apreender*” é mais um invariante operatório associado à ECR.

As idealizações podem ser encaradas como recortes da realidade e são fundamentais na construção do objeto-modelo. Quando, por exemplo, se pretende descrever o comportamento de um gás que se expande isotermicamente, podemos utilizar o modelo de gás ideal, que contém algumas idealizações frente ao comportamento de um gás no mundo real. As moléculas são consideradas esferas de dimensões desprezíveis frente à distância média entre elas, não interagem entre si, exceto em eventuais colisões (que são consideradas perfeitamente elásticas), dentre outras características.

As idealizações e as aproximações, embora sejam simplificações do objeto de estudo, não são conceitos equivalentes. As idealizações ocorrem no início do processo, quando o sujeito seleciona os elementos mais relevantes à descrição simbólica do evento, enquanto que as aproximações estão associadas às simplificações dos cálculos realizadas no modelo teórico. Como invariante operatório relacionado ao conceito de aproximações, Brandão, Araujo e Veit (ibid.) apresentam o seguinte exemplo: *dado um sistema físico previamente idealizado, decidir quais simplificações matemáticas serão assumidas, tais como: desprezar efeitos que são pequenos, considerar relações lineares, desprezar ruídos, etc.*”.

Associada à descrição do sistema físico e análise dos referentes está a escolha das variáveis e parâmetros atribuídos às grandezas físicas relevantes. *“Identificar quais variáveis são necessárias para representar o sistema físico e quais delas podem assumir valores numéricos contínuos e quais discretos”* é um exemplo de invariante operatório relacionado ao conceito de variável. Ao conceito de parâmetro, *“identificar quais parâmetros fixos no tempo e quais os variáveis”* é o exemplo de invariante operatório atribuído pelos autores.

Quando os objetos-modelo, elaborado a partir das simplificações da realidade e formulação de hipóteses, são capazes de serem acolhidos por uma (ou mais) teoria geral, define-se a construção de modelo(s) teórico(s), que podem ser *“confrontados com os resultados empíricos provenientes da experimentação com o sistema físico de interesse”* (BRANDÃO, ARAUJO & VEIT, 2010, p. 673). Um exemplo de invariante operatório, de carácter geral, mas relacionado a esse processo pode ser a capacidade de *“representar a situação física de modo esquemático e à luz de algum campo conceitual específico da Física”* (BRANDÃO, ARAUJO & VEIT, 2011, p. 529).

Brandão, Araujo e Veit (2010) argumentam que a adequação dos modelos teóricos ao sistema físico que buscam representar depende:

(a) das questões que pretendem responder; (b) da quantidade de informações disponível sobre os referentes a serem representados, isto é, os objetos e eventos que compõem o sistema a ser modelado e os agentes externos que com ele interagem; (c) do grau de precisão desejável em seus resultados; e (d) das idealizações e aproximações que são assumidas (ibid., p. 674).

Uma vez construído o modelo teórico, portanto, deverão ser estimados os erros impostos pelas idealizações, com o objetivo de se alcançar um grau de precisão aceitável para o modelo. Em termos dos invariantes operatórios, podemos expressar a sentença anterior dizendo que *“dada uma idealização, avaliar qualitativamente e quantitativamente o erro por ela introduzido no modelo”*.

O processo de construção de modelos teóricos, contudo, não ocorre somente da maneira como descrevemos acima. Ela é uma possibilidade, mas não é a única. Não podemos considerar que a construção de modelos deve obedecer um passo a passo, uma sequência de procedimentos infalíveis para se chegar a um modelo teórico mais apropriado. Diferentemente disso, a construção dos modelos teóricos pode começar com algumas hipóteses lançadas a partir dos dados empíricos obtidos com observação e experimentação, especialmente em algumas áreas do conhecimento que não possuem teorias gerais ou apresentam falta de maturidade teórica.

Como os modelos teóricos foram construídos a partir de idealizações sobre o evento em estudo, mais cedo ou mais tarde irão falhar ao representar determinados aspectos da realidade. Quando isso acontece, diz-se que o domínio de validade foi extrapolado. Os modelos teóricos não são capazes de representar completamente todos

os fenômenos de qualquer sistema físico, porque foram elaborados de acordo com determinados padrões do que se pretendia representar. Associado ao conceito de domínio de validade, Brandão, Araujo e Veit (2011) consideram o seguinte invariante operatório: *“Identificar um fenômeno como sendo o caso limite de outro”* (ibid., p. 529).

Resumindo o que foi dito até aqui, os indivíduos em ação de modelagem formulam questões a respeito de objetos ou eventos reais como forma de produção de conhecimento científico. No processo de teorização, formulam hipótese e elaboram objetos-modelo, que, quando encaixados em teorias gerais, podem se constituir em modelos teóricos. Os resultados gerados pelos modelos teóricos podem ser, agora, confrontados com resultados empíricos provenientes da experimentação, ou ainda comprovados por testes de natureza epistemológica, metodológica e filosófica. É importante destacar que o conhecimento produzido nos testes de corroboração dos modelos teóricos não é definitivo, pois *“todo conhecimento construído no processo de modelagem científica é por definição provisório, sempre passível de revisão”* (BRANDÃO; ARAUJO & VEIT, 2010, p. 671 - 672).

Um modelo teórico pode, ainda, ser expandido, na medida em que novos referentes, novas idealizações, novas variáveis e parâmetros passam a ser consideradas no modelo. O objetivo final de propor tal manipulação teórica é obter diferentes resultados, buscando explicações mais adequadas aos fatos. Dessa forma, *“incluir novos referentes, variáveis, parâmetros, relações e conceitos físicos, a fim de obter resultados mais precisos e/ou melhor interpretáveis com o modelo”* é um possível invariante operatório associado ao conceito de expansão do modelo teórico. Outra prática científica comum é a da generalização de esquemas teóricos e formalismos matemáticos (ibid.). A generalização ocorre quando o domínio de aplicabilidade de um objeto-modelo e/ou um modelo teórico é ampliado, ou seja, quando a estrutura teórica adotada auxilia na compreensão de outros eventos; auxilia na compreensão de outros sistemas físicos. Vinculado a esse conceito, os autores propõem o seguinte invariante operatório: *“Dado um modelo conceitual e/ou matemático, verificar se ele pode ser útil para representar outros sistemas físicos distintos daquele para o qual foi concebido”*.

Inclusão do fazer experimental na Modelagem Didático-Científica

A ECR da Figura 3.2 aborda a modelagem científica em um contexto geral, sem considerar especificidades do trabalho empírico dentro do campo conceitual da modelagem didático-científica. Nesse sentido, Heidemann (2015) complementa o referencial teórico-metodológico proposto por Brandão, Araujo e Veit, explicitando a forma como os conceitos, esquemas de ação e as situações vinculadas ao processo de contrastação empírica das ideias científicas se relacionam dentro do mesmo campo conceitual da modelagem didático-científica. A Figura 3.3, retirada de Heidemann (2015, p. 157), sintetiza a Estrutura Conceitual de Referência do processo de contrastação empírica relacionado à modelagem científica. Para Heidemann, Araujo e Veit (2016 a), esse novo referencial (MDC+) tem potencial para:

i) orientar investigadores que pretendem elucidar os processos cognitivos acionados pelos estudantes quando enfrentam situações que envolvem construção, exploração e validação de modelos científicos;

ii) amparar professores que pretendem delinear, desenvolver e avaliar atividades de ensino de Física frutíferas para que os estudantes desenvolvam competências relacionadas com a modelagem de eventos reais, vinculando teoria e prática nas aulas de Física (ibid., p. 5).

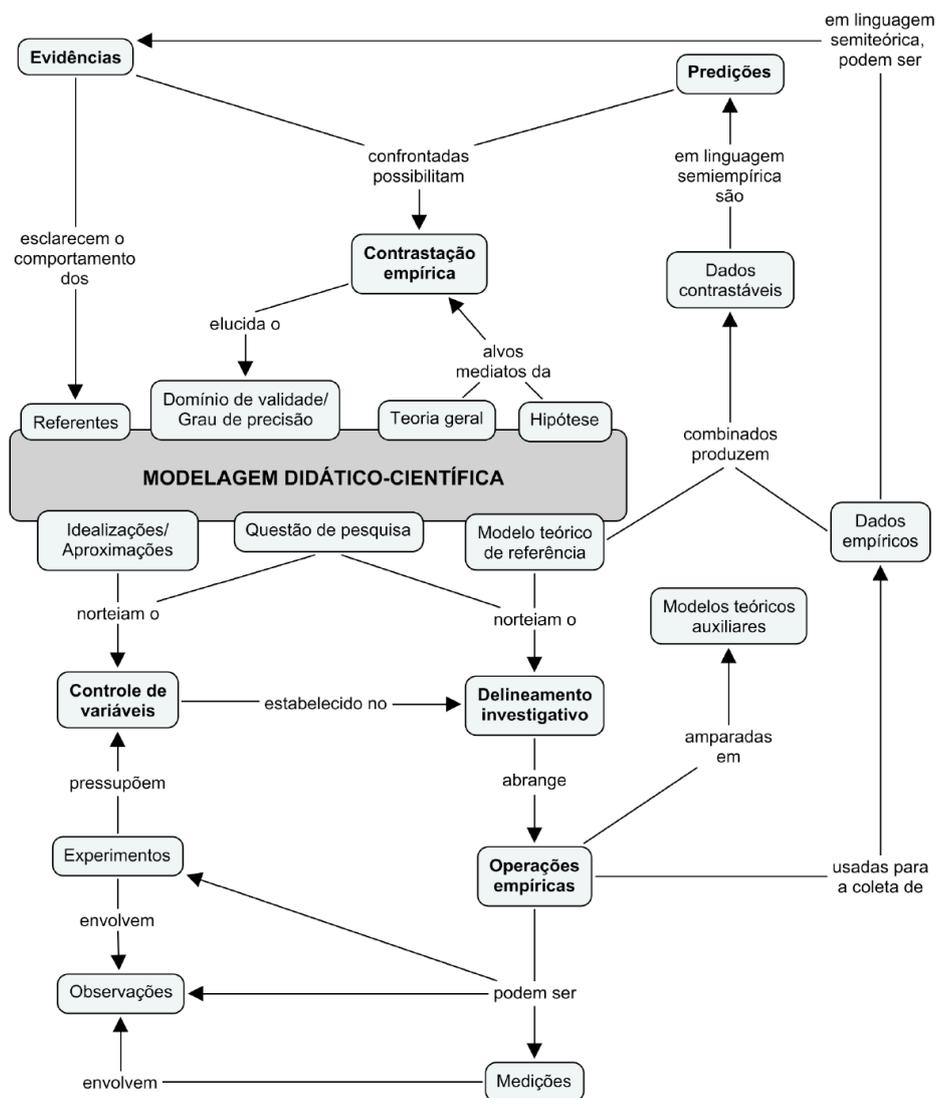


Figura 3.3: Síntese da ampliação da Estrutura Conceitual de Referência da modelagem científica, que denominaremos de ECR+, envolvendo o processo de contrastação empírica das ideias científicas. Retirado de Heidemann (2015, p. 157).

Para enfrentar o problema da dissociação entre teoria e prática em disciplinas experimentais de cursos de Física, Heidemann, Araujo e Veit (2016 b) planejaram Episódios de Modelagem, que oportunizam avanços nas aulas de laboratório uma vez que: i) os problemas são construídos e propostos com intuito de promover o enriquecimento das concepções epistemológicas dos estudantes; ii) as tarefas não são roteirizadas, envolvem desde a criação de questões de pesquisa até a construção de conclusões baseadas em evidências experimentais. De acordo com os autores, “para

resolver problemas sobre eventos reais [...] os estudantes precisam ter clareza sobre as simplificações da realidade assumidas nos modelos científicos que constroem e/ou exploram” (ibid., p. 3). A ideia central é oportunizar os estudantes a refletir sobre os elementos essenciais do processo de modelagem científica, permitindo que eles desenvolvam competências que envolvam desde a construção de representações simplificadas de eventos reais, até a contrastação dessas representações com eventos reais por meio de investigações experimentais.

Segundo Heidemann (2015), para se responder adequadamente as questões orientadoras, o delineamento investigativo de uma atividade didática experimental será melhor realizado se dirigido por um modelo teórico de referência. O autor argumenta, com base nas ideias de Bunge sobre a contrastação das hipóteses científicas, que as investigações empíricas científicas são planejadas e fundamentadas em bases teóricas pré-estabelecidas.

O planejamento de uma investigação experimental abrange a elaboração de uma ou mais operações empíricas. Um possível invariante operatório relacionado ao conceito de “operações empíricas” é: *definidas as grandezas que necessitam ser conhecidas em uma investigação, delinear investigações empíricas para a coleta de dados empíricos pertinentes para a pesquisa*. Para Bunge (1989), as experiências científicas são formadas por um conjunto de diferentes operações empíricas: i) observações; ii) medições e; iii) experimentos. Os procedimentos de observações científicas são realizados amparados em marcos teóricos pré-estabelecidos, são observações intencionais, com objetivos previamente definidos e carecem de algum nível de conhecimento prévio. No entanto, somente observações científicas são insuficientes para se alcançar um conhecimento profundo e preciso sobre Ciência, pois tais observações são capazes de captar apenas alguns traços de um sistema; é preciso que o conhecimento ganhe apoio empírico, baseado em medições e experimentos (HEIDEMANN, 2015). A partir da construção de um arranjo experimental é possível fazer medições, atribuindo valor numérico a diferentes elementos da observação. A terceira operação empírica, o experimento, se dá com a construção deliberada de um evento, conduzido para atingir um ou mais objetivos.

Posto que os experimentos científicos são idealizados, conduzidos e interpretados dentro de um corpo de ideias, compreende-se a necessidade de um bom planejamento da atividade experimental, que ocorre desde a definição dos dados que serão coletas, dos instrumentos de medida e dos métodos de análise, com base em um modelo teórico de referência. Associado ao conceito de delineamento experimental, Heidemann (ibid.) considera alguns invariantes operatórios, tais como: *Escolher o modelo científico que amparará o delineamento e a interpretação da investigação empírica, ou seja, escolher um modelo teórico de referência; e delinear um arranjo experimental baseado no modelo teórico de referência para utilizar na investigação empírica*.

No trabalho experimental, almeja-se o controle de variáveis, com dois objetivos: i) controlar os aspectos que foram desprezados no modelo teórico de referência; ii) assegurar que os resultados de um experimento sejam decorrentes somente do que se pretendia medir (ibid.). Vinculado ao conceito de controle de variáveis, Heidemann (ibid.) considera o seguinte invariante operatório: *estabelecer procedimentos de controle de variáveis que minimizem a influência dos fatores desprezados no modelo teórico de referência da investigação.*

Em relação à análise dos dados experimentais, Heidemann (2015) focaliza na contrastação entre hipóteses e teorias, explorando as concepções de Bunge sobre o papel das operações empíricas no processo de modelagem científica. Segundo Heidemann (ibid.), as hipóteses não são diretamente contrastáveis, mas sim suas consequências, que são observáveis, podem ser diretamente contrastáveis e defrontadas com evidências.

A título de exemplificação, a seguinte questão é apresentada (ibid., p. 55): considere a hipótese h de que o ar é um fluido que obedece às leis da termodinâmica. A consideração de que a pressão atmosférica diminui com a altitude é considerada uma derivação de h , mas não é uma grandeza diretamente observável. No entanto, a altura de uma coluna de mercúrio em um barômetro (consequência t) é diretamente contrastável, e, portanto, pode ser defrontada com evidências. Para que haja contrastação de hipóteses, é importante que t esteja em uma linguagem semiempírica t^* , que considera, por exemplo, o grau de incerteza na medida de t (altura da coluna de mercúrio). Assim como é preciso transformar $t \rightarrow t^*$, as evidências ε coletadas experimentalmente também devem ser transformadas, traduzidas em linguagem semiteórica ε^* . Assim, forma-se um conjunto de predições diretamente contrastáveis com t^* . A Figura 3.4 sintetiza esse processo.

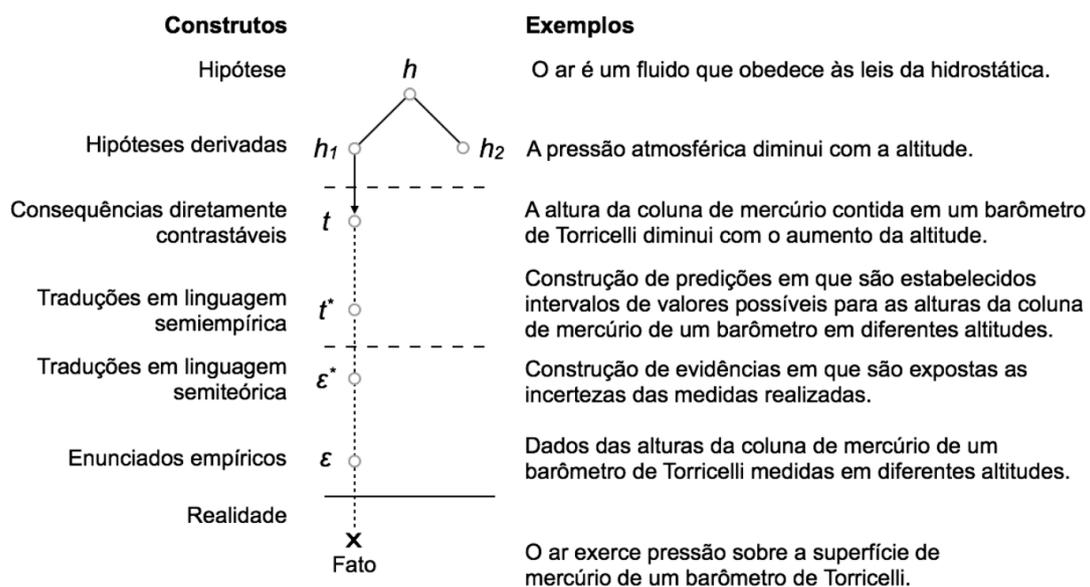


Figura 3.4: Estrutura geral da contrastação de hipóteses, retirada de Heidemann (2015, p. 56).

Para Bunge, o estágio conceitual antecede às operações empíricas. Segundo ele, os três estágios para contrastação de teorias são: 1) estágio teórico; 2) estágio empírico; 3) inferência. Para Heidemann (ibid.):

Bunge entende que o estágio teórico antecede o empírico no processo de contrastação das ideias científicas. Isso porque o delineamento das operações empíricas é fortemente influenciado pelos pressupostos teóricos em confrontação. Além disso, a construção de predições e de evidências envolvem o uso de teorias auxiliares que nem mesmo são postas à prova nas investigações. Fica evidente, portanto, que o trabalho experimental é sempre delineado, conduzido e avaliado dentro de um corpo teórico composto por teorias, modelos, hipóteses, etc. (ibid., 2015, p. 156).

É preciso, portanto, que os indivíduos envolvidos no processo de modelagem transformem os dados coletados à luz do modelo teórico de referência e teorias auxiliares, com objetivo de tornar esses dados contrastáveis. Para isso, devem ser construídas representações, como gráficos, tabelas, diagramas, dentre outras, e realizar uma análise estatística dos dados empíricos, permitindo a contrastação entre as predições teóricas e as evidências coletadas.

A partir desse ponto, é preciso refletir a respeito dos resultados obtidos com as contrastações empíricas, avaliando se o experimento forneceu apoio empírico ao modelo teórico, ou seja, se “a evidência é compatível com as consequências da teoria considerando os limites aceitáveis das incertezas experimentais” (ibid., p. 58). Além disso, seria oportuno que se estabelecessem perspectivas para estudos futuros, avaliando as possibilidades de expansão do modelo teórico adotado e sua utilidade em outros sistemas físicos. Associado ao conceito de “contrastação empírica”, Heidemann (ibid.) considera alguns invariantes operatórios. Dois desses invariantes operatórios podem ser: i) *confrontar as predições com as evidências da investigação avaliando se as evidências construídas fornecem um apoio empírico à teoria geral contrastada ou se a discordância entre predições e evidências supera a tolerância aceitável para a investigação*; ii) *avaliar o domínio de validade e o grau de precisão do modelo teórico de referência da investigação por meio da confrontação das predições confeccionadas com base no mesmo com as evidências construídas na pesquisa*.

Como o foco deste trabalho reside na promoção de atividades didáticas de resolução de problemas abertos no nível médio, e tendo em vista a extensão de conceitos, relações e esquemas de pensamento associados à ECR+, torna-se fundamental que seja feito um recorte, para que atividades dessa natureza sejam viáveis nesse nível de ensino. Ainda assim, os elementos selecionados devem carregar a essência da MDC+, além de conversarem com a literatura sobre resolução de problemas abertos. No próximo capítulo, apresentaremos a metodologia adotada para a realização desta pesquisa.

CAPÍTULO 4. METODOLOGIA

O objetivo principal desta tese, conforme argumentamos no Capítulo 1, é ressignificar as atividades de resolução de problemas de Física que costumeiramente são trabalhadas nas salas de aula de nível médio, a partir da inserção de problemas abertos. Frente a esse objetivo principal, começamos com uma revisão sistemática da literatura sobre o tema, e obtivemos resultados que indicam diferentes classificações, orientações e abordagens com resolução de problemas abertos em Física, conforme apresentamos no Capítulo 2.

A partir da revisão da literatura, e tendo em vista que atividades com resolução de problemas abertos nunca fizeram parte de nossas práticas docentes, nem da instituição de ensino em que atuamos (IFSul/Campus Pelotas), sentimos a necessidade de conhecer mais sobre o tema, vivenciando, pela primeira vez, atividades didáticas de resolução de problemas abertos em sala de aula. Para tanto, planejamos, implementamos e avaliamos um estudo empírico, de caráter qualitativo, seguindo orientações de Yin (2016). Esse estudo será apresentado no Capítulo 5.

Para que os estudantes avancem no enfrentamento de problemas abertos, entendemos que é necessária a elaboração de uma articulação teórica baseada em referenciais epistemológicos e de aprendizagem, que levem em consideração a forma como o aluno aprende e como o conhecimento científico é construído. Contudo, não encontramos uma articulação dessa natureza na literatura revisada. Isso nos conduziu ao segundo estudo desta tese, de cunho teórico, que será desenvolvido no Capítulo 6. Esse estudo apresenta como produto final a principal produção de conhecimento desta tese: uma Articulação Teórica de Referência, que associa as etapas e os recursos cognitivos exigidos à resolução de problemas abertos ao processo de construção do conhecimento científico via Modelagem Didático-Científica (MDC+), na acepção de Heidemann, Araujo e Veit (2018). A MDC+, por sua vez, tem como embasamento a teoria dos campos conceituais de Vergnaud e a postura epistemológica de Bunge.

A seguir, apresentaremos os principais elementos da pesquisa qualitativa, na visão de Yin, que utilizamos para apoiar metodologicamente a construção do Estudo Empírico.

4.1 Estudo qualitativo na perspectiva de Yin

Para Yin (2016), a diversidade das possíveis abordagens de uma pesquisa de cunho qualitativo dificulta que se tenha uma definição sucinta e singular sobre esse tipo de investigação. No entanto, ele elenca cinco características que compreendem um estudo qualitativo.

1. *Estudar o significado da vida das pessoas, nas condições da vida real;*

2. *Representar as opiniões e perspectivas dos participantes de um estudo;*
3. *Abranger as condições contextuais em que as pessoas vivem;*
4. *Contribuir com revelações sobre conceitos existentes ou emergentes que podem ajudar a explicar o comportamento social humano; e*
5. *Esforçar-se por usar múltiplas fontes de evidência em vez de se basear em uma única fonte (ibid., 2016, p. 7).*

O autor entende que não existe uma metodologia formal de pesquisa qualitativa e que essas cinco características deverão aparecer em uma pesquisa dessa natureza. Tais características pressupõem que as interações sociais deverão ocorrer com a mínima interferência de procedimentos artificiais de pesquisa, permitindo que os indivíduos se sintam livres para expressar suas opiniões. Assim, os eventos analisados pela pesquisa qualitativa podem representar as opiniões e perspectivas dados a fatos do mundo real pelos participantes, e não somente os valores ou significados atribuídos pelos pesquisadores. Além disso, a pesquisa qualitativa não deve ser entendida como uma narrativa de acontecimentos cotidianos, mas como uma pesquisa guiada por um desejo de explicar esses acontecimentos, sendo possível a partir de conceitos existentes ou emergentes.

De acordo com Yin (ibid.), existem estudos que apontam para uma grande variedade de metodologias formalmente organizadas dentro da pesquisa qualitativa. As variações apresentadas no Quadro 4.1 tendem a estar entre as formas comumente aceitas de pesquisa qualitativa. Segundo Yin, são possíveis variações, como, por exemplo, um estudo de caso baseado em observação participante; uma história de vida como parte de uma investigação narrativa; pesquisa-ação, adotando uma abordagem de teoria fundamentada na coleta e análise dos dados.

Yin (ibid.) ressalta que é preciso ser sensível a essas variações, mas que não é necessário escolher, obrigatoriamente, entre um desses formatos; é preciso levar em conta outras variações, tais como: etnografia, análise convencional, análise do discurso, etnografia de performance, dentre outros. Independentemente de qualquer variação, a pesquisa qualitativa deve seguir a maioria, se não todas as cinco características dessa modalidade de pesquisa, citada anteriormente. No entanto, conforme o autor, é viável conduzir uma pesquisa qualitativa de uma forma generalizada, sem referência a nenhuma das variantes (ibid.).

Quanto ao início de um estudo investigativo, Yin (ibid.) estabelece que, definidos alguns elementos importantes, como o tema de estudo, um método e uma fonte de dados, o pesquisador pode, com preparação prévia, optar por um estudo de campo inicial ou começar a investigação por questões de pesquisa. “Trabalho de campo primeiro faz sentido porque a pesquisa qualitativa procura capturar condições da vida real, adotando a perspectiva das pessoas que fazem parte destas condições” (ibid., p. 59). A principal implicação dessa primeira linha metodológica é que as experiências de

campo direcionam o prosseguimento do estudo. Em grande medida, nosso primeiro estudo foi planejado nesse sentido: um estudo de campo inicial, com objetivo de proporcionar ao pesquisador uma primeira experiência com atividades de resolução de problemas em uma sala de aula de ensino médio, além de obter mais conhecimentos sobre o tema.

Quadro 4.1: Variações de pesquisa qualitativa. Extraído de Yin (2016, p. 15).

Varição ilustrativa	Descrição breve
Pesquisa-ação	Enfatiza a adoção de um papel ativo por parte do pesquisador ou uma colaboração ativa com os participantes do estudo.
Estudo de caso	Estuda um fenômeno (o “caso”) em seu contexto real.
Etnografia	Envolve um estudo de campo suficientemente extenso para revelar normas, rituais e rotinas cotidianos em profundidade.
Teoria fundamentada	Presume que a ocorrência natural do comportamento social em contextos da vida real é mais bem analisada derivando-se categorias e conceitos fundamentados “de baixo para cima”.
História de vida	Coleta a narra a história de vida de uma pessoa, capturando seus pontos de virada e temas importantes.
Estudo de observador-participante	Conduz pesquisa de campo em que o pesquisador se coloca no ambiente real que está sendo estudado.
Estudo fenomenológico	Estuda eventos humanos enquanto são imediatamente vivenciados em ambientes reais, evitando categorias e conceitos prévios que poderiam distorcer a base experiencial para compreender os eventos.

O trabalho de campo ocorre no ambiente da vida real, no tempo e nas interações sociais dos indivíduos, contrastando fortemente “com a artificialidade dos ambientes de outros tipos de pesquisa” (ibid., p. 98). No caso de nosso primeiro estudo, no entanto, não tínhamos a possibilidade de avaliar um ambiente educacional no qual atividades de resolução de problemas abertos em Física estivessem sendo implementadas, ou seja, estivessem ocorrendo naturalmente. Frente à inviabilidade de avaliar os sujeitos em seu ambiente natural, optamos por formar uma turma de nível médio, com estudantes voluntários, com a perspectiva de criar um ambiente de sala de aula com implementação de atividades didáticas de resolução de problemas.

Do ponto de vista metodológico, nossa ação nesse primeiro estudo pode ser classificada, segundo Yin (ibid.), como estudo de observação participante, que chamaremos aqui, no escopo desta tese, de Estudo Empírico. Segundo ele, a metodologia associada ao trabalho de campo classificado como observação participante exige do pesquisador a emulação de duas combinações: ser um participante que também observa e ser um observador que também participa. Ou seja, deve “haver alguma participação e alguma observação, e não negligenciar completamente nenhuma delas” (ibid., p. 109).

Para o levantamento de dados, de acordo com Yin (2016), é importante que: a) se utilizem múltiplas fontes de evidências, uma vez que a investigação de vários aspectos em relação ao fenômeno de estudo torna as descobertas e conclusões mais convincentes; b) se construa uma base de dados; c) se forme uma cadeia de evidências, que demonstre a consistência do estudo, desde as questões de pesquisa até as conclusões finais.

Para um estudo qualitativo, Yin pressupõe que existam quatro possíveis atividades de coleta de dados: 1. Entrevistas; 2. Observação; 3. Coleta e exame; 4. Sentimento. Cada tipo de coleta de dados resulta em diferentes tipos de dados, como mostra o Quadro 4.2. Nosso Estudo Empírico contou com três métodos de coleta de dados: entrevista, observação e coleta (das respostas dos estudantes aos problemas propostos, filmagens das discussões em grupo e transcrição das entrevistas).

Quadro 4.2: Método de coleta de dados, tipos de dados e exemplos de dados específicos para pesquisa qualitativa. Extraído de Yin (ibid., p. 118).

Método de coleta de dados	Tipos de dados ilustrativos	Exemplos de dados específicos
Entrevistas e conversas	Linguagem (verbal e corporal).	A explicação de outra pessoa para algum comportamento ou ação; uma recordação.
Observação	Gestos das pessoas; interações sociais; ações; cenas e ambiente físico.	Quantidade e natureza da coordenação entre duas pessoas; organizações espaciais.
Coleta	Conteúdos: documentos pessoais, outros materiais impressos, elementos gráficos, registros arquivais e artefatos físicos.	Títulos, textos, datas e cronologias; outras palavras escritas; entradas em um registro arquivado.
Sentimento	Sensações.	Frio ou calor de um lugar; tempo percebido; interpretação do conforto ou desconforto de outras pessoas.

Quanto ao registro dos dados, é fundamental ser muito seletivo para registrar o que for preciso, sem interferir no ritmo ou passo de um participante (ibid.). Em essência, a prioridade inicial na tomada de notas está intimamente relacionada às questões de pesquisa elencadas no início do estudo, devendo o pesquisador, portanto, dar atenção especial às ações e palavras relacionadas a essas questões de pesquisa. Como instrumentos de coletas de dados, são valorosos os dispositivos de gravação, gerando registros em áudio, vídeo e fotografias.

Em relação ao tempo de um trabalho de campo, Yin (ibid.) entende que nem todo estudo qualitativo exige ou necessita de um período longo de investigação, tal

como ocorria nos estudos clássicos, que tendiam a envolver um prolongado trabalho de campo em função do desejo de se estudar da forma mais completa possível as complexidades de uma cultura ou estrutura social de um ambiente ou as relações sociais das pessoas que ali convivem. “A quantidade mais limitada de tempo em campo – dois ou três dias – é, não obstante, justificável se o tema de investigação for igualmente limitado” (ibid., p. 101). Yin cita, ainda, que a investigação da maneira como um professor utiliza um determinado método de ensino em suas salas de aula pode ocorrer em um curto espaço de tempo se o evento investigado ocorrer igualmente em um curto espaço de tempo. Esse é um argumento extremamente relevante para conferir ao nosso primeiro estudo o carácter de estudo qualitativo. O evento investigado, resolução de problemas abertos em Física por parte de estudantes de ensino médio, ocorreu a partir da implementação de um módulo didático, em períodos extraclasse, no decorrer de cinco encontros de uma hora e trinta minutos, aproximadamente. No entanto, esse curto tempo de investigação não descaracteriza, de acordo com o autor, a pesquisa qualitativa.

4.2 Instrumentos de coleta de dados

Para dispor de múltiplas fontes de evidências para avaliar o desempenho e o comportamento dos estudantes no enfrentamento de problemas abertos no Estudo Empírico, usamos os seguintes quatro instrumentos de coleta de dados: 1. Protocolo de avaliação; 2. Caderno de campo; 3. Vídeo-filmagens; 4. Entrevista.

Com o objetivo de auxiliar na avaliação do enfrentamento dos estudantes em seis problemas abertos de física, propostos em sala de aula, construímos o protocolo de avaliação apresentado no Quadro 4.3. Nesse protocolo o desempenho dos estudantes em cada uma das quatro etapas do processo de resolução de problemas abertos é decomposto em itens, que especificam habilidades fundamentais para se atingir um bom nível de qualidade na resolução dos problemas abertos. A avaliação é feita em uma escala de três níveis: satisfaz, em parte ou insatisfaz.

Todos os encontros didáticos planejados para o estudo foram gravados em áudio e vídeo, por pelo menos três instrumentos de gravação (duas ou mais câmeras vídeo-filmadoras e gravador de áudio), para que o pesquisador pudesse explorar, posteriormente, os dados coletados. Além do protocolo e das vídeo-filmagens, utilizamos, para avaliar o enfrentamento dos estudantes nos problemas abertos todas as anotações realizadas pelo pesquisador no caderno de campo.

Quadro 4.3: Protocolo de avaliação.

Etapas de resolução de problemas abertos	Itens	Referência		
		Insatisfaz	Em parte	Satisfaz
Definição e representação do problema	Não é capaz de definir e representar o problema.			
	Identifica o tópico do conteúdo, considerando relações fundamentais entre as grandezas físicas do problema.			
	Evidencia as informações relevantes, destacando o que precisa ser conhecido.			
	Utiliza algum esquema de representação (desenhos, gráficos, tabelas).			
	Interpreta adequadamente as representações elaboradas.			
	Explicita as idealizações necessárias ao problema.			
	Atribui estimativas com valores típicos do mundo real.			
	Define e representa adequadamente o problema.			
Elaboração de planos e estratégias de solução	Não é capaz de elaborar planos e estratégias para solução do problema.			
	Lança e testa corretamente pelo menos uma hipótese relacionada a algum conceito físico.			
	Apresenta bons argumentos para a solução.			
	Planeja o caminho de solução.			
	Elabora adequadamente planos e estratégias de solução.			
Implementação das estratégias de solução	Não é capaz de implementar estratégias de solução.			
	O caminho de solução é coerente.			
	Utiliza adequadamente as equações físicas.			
	Utiliza corretamente as unidades das grandezas físicas relacionadas no problema.			
	Propõe uma resposta coerente com o caminho de solução adotado e com o fenômeno descrito.			
	Implementa adequadamente as estratégias de solução.			
Avaliação e monitoramento do processo	Não é capaz de avaliar e monitorar o processo de solução.			
	Avalia a plausibilidade das respostas.			
	Avalia outra possibilidade de solução.			
	Avalia e monitora adequadamente o processo de solução do problema.			

No último encontro das atividades de ensino, fizemos uma entrevista individual semiestruturada com os estudantes, para conhecer suas impressões sobre o estudo e

coletar mais evidências que nos auxiliassem a responder à questão de pesquisa. A entrevista foi dividida em duas etapas. Na primeira parte, os estudantes responderam algumas perguntas sobre as impressões que eles tiveram em relação às atividades de resolução de problemas abertos propostas, suas dificuldades, e as principais diferenças que perceberam entre os problemas abertos e aqueles que costumeiramente resolvem em sala de aula. Na segunda parte da entrevista, foi solicitado aos estudantes que buscassem propor uma solução, em voz alta, expressando ao máximo todos os raciocínios e caminhos de solução adotados, usando apenas lápis e papel, a um problema aberto sobre aceleração média de um avião comercial, em processo de decolagem. As perguntas realizadas na entrevista e o problema aberto constam no Apêndice A.

4.3 Análise dos dados do Estudo Empírico

Para analisar os dados qualitativos resultantes do Estudo Empírico, seguimos as orientações de Yin (ibid.), e adotamos um ciclo geral de análise que compreende as seguintes fases: *compilação*, *decomposição*, *recomposição*, *interpretação* e *conclusão*. A fase de *compilação* se constitui em criar uma base de dados, organizando todas as informações obtidas. “Dados mais organizados levarão a análises mais robustas e fundamentalmente a uma pesquisa qualitativa mais rigorosa” (ibid., p. 162). Rer ler as notas de campo, documentos coletados (e.g. respostas por escrito dos alunos a um problema proposto pelo professor), assistir mais de uma vez as vídeo-filmagens etc. é fundamental para que o pesquisador se familiarize com os dados. A fase seguinte, *decomposição*, consiste em desagrupar os dados compilados em fragmentos ou elementos menores. Esse procedimento pode ser acompanhado de atribuição de rótulos ou códigos (ou não) a palavras, expressões ou outro bloco de dados, com o objetivo de passar a um nível conceitual mais elevado. Nesta fase é recomendável que o pesquisador se conscientize de padrões potencialmente mais amplos nos dados, tendo em vista os elementos que possam ser úteis para responder às questões de pesquisa. A terceira fase, a de *recomposição*, consiste em reorganizar os fragmentos em sequências diferentes dos originais; é um rearranjo das informações coletadas, formando novas categorias, listas, tabulações. Quando a recomposição dos dados é bem-sucedida, o pesquisador percebe os elementos mais significativos de sua análise. A quarta fase, a de *interpretação*, consiste em dar novos significados aos dados recompostos, criando uma nova narrativa do estudo, parte analítica mais fundamental. Nesta fase ocorre a necessidade de atribuir à análise um (ou mais) significado mais profundo. A quinta e última fase exige *conclusões* do estudo, relacionadas às interpretações geradas na fase anterior. As conclusões estão vinculadas com a essência de *slogans* como “lições aprendidas”, “implicações práticas” e “implicações da pesquisa”.

Para Yin (ibid.), as fases de análise dos dados de um estudo qualitativo não se encaixam em uma sequência linear, mas possuem relações recursivas e iterativas. O vai

e vem de uma fase para outra pode servir para alterar alguma coisa feita em uma fase anterior ou trazer à tona uma ideia para a fase que está por vir.

Nos próximos capítulos, apresentaremos os dois estudos desta tese: Estudo Empírico e Estudo Teórico.

CAPÍTULO 5. ESTUDO EMPÍRICO

O objetivo principal deste estudo foi: i) familiarizar o pesquisador com a proposta de implementação de problemas abertos em Física em turmas de Ensino Médio; e ii) entender melhor as principais dificuldades, atitudes e crenças dos alunos em resolução de problemas abertos em Física, comparando os resultados com os encontrados na literatura. Frente a esses objetivos, a questão de pesquisa desse estudo é: *Quais as principais dificuldades, atitudes e crenças de estudantes de nível médio no enfrentamento de atividades de resolução de problemas abertos em Física?*

Para responder a essa questão de pesquisa, planejamos, implementamos e avaliamos os resultados de um módulo didático com resolução de problemas abertos em Física, para estudantes voluntários de nível médio do IFSul/Campus Pelotas. A seguir, apresentaremos o contexto do estudo e a metodologia de ensino adotada, descrevendo as atividades didáticas e seus objetivos, para cada encontro, seguida da análise dos dados.

5.1 Contexto do estudo

O Estudo Empírico foi planejado para estudantes de Física do Ensino Médio, que tipicamente tivessem trabalhado apenas com resolução de exercícios e problemas fechados. Frente a todas as mudanças e novas experiências a serem vivenciadas pelo professor/pesquisador deste trabalho, julgamos que o ambiente de implementação do primeiro estudo deveria ser sua instituição de atuação profissional, o IFSul, facilitando a administração do estudo, com fácil acesso aos estudantes e à estrutura física.

O Campus Pelotas do IFSul possui aproximadamente 347 professores e 5250 alunos distribuídos em cursos técnicos de nível médio, cursos de nível superior e pós-graduação. A coordenadoria de Física é composta por 16 professores que atendem diversos cursos ofertados pela instituição, nos seus diferentes níveis de ensino. Assim como na maioria dos contextos educacionais, grande parte das aulas de Física do IFSul apresentam enfoque tradicional¹⁰, com ênfase à resolução de listas de exercícios (problemas fechados).

Para implementação das atividades de ensino convidamos, com antecedência, alunos de quatro turmas dos cursos técnicos de Química, Edificações e Eletrotécnica, perfazendo um total aproximado de 120 alunos, para que se voluntariassem a participar do estudo. Buscamos convidar apenas estudantes que estivessem cursando o terceiro semestre de seu respectivo curso, ou de semestres mais avançados, que já teriam tido contato com conhecimentos físicos exigidos nos problemas abertos elaborados para o

¹⁰ Entende-se aula tradicional como aula predominantemente expositiva, com foco na transmissão de informação pelo professor, aprendizagem passiva e resolução de lista de exercícios.

estudo. Muitos estudantes que manifestaram interesse no estudo não puderam participar, porque o período de implementação das atividades de ensino coincidiu com o final do semestre letivo da instituição, período no qual os estudantes enfrentam, tradicionalmente, uma grande quantidade de provas finais.

Dez estudantes se inscreveram, compondo nosso grupo de estudo. Porém nem todos os alunos inscritos puderam participar do primeiro encontro no horário previamente estabelecido, por diferentes motivos acadêmicos e pessoais. Mesmo assim, manifestaram interesse em integrar o estudo. Tendo em vista a dificuldade de todos alunos comparecer na aplicação das atividades do primeiro encontro, simultaneamente, em único horário, optamos, então, por oferecer mais dois diferentes horários para implementação das atividades de ensino planejadas, como forma de viabilizar a participação de todos os estudantes interessados. No horário previamente estabelecido para o primeiro encontro, sete estudantes estiveram presentes e participaram das atividades (Estudantes 1, 2, 6, 7, 8, 9 e 10); no segundo horário oferecido, dois estudantes (Estudantes 4 e 5), e no terceiro horário, apenas um estudante (Estudante 3). Vale observar que nos três horários oferecidos para o primeiro encontro do estudo, seguimos rigorosamente a mesma sequência de atividades.

Oito estudantes pertenciam ao curso técnico em Química, e dois estudantes, ao curso técnico em Edificações. Os estudantes do curso de Química eram considerados bons alunos, no sentido de participar de todas as atividades didáticas propostas por seus professores e por atingirem bons resultados nos testes de avaliativos. No entanto, os dois estudantes do curso de Edificações, eram os únicos alunos que apresentam reprovações na disciplina de Física em seus respectivos históricos escolares. Mesmo não sendo considerados alunos com boas notas, manifestaram interesse em participar do estudo por já terem sido alunos do professor/pesquisador, e julgarem interessante as práticas didáticas implementadas.

Sete desses alunos cursaram ensino fundamental em escolas públicas, e apenas três estudantes, em particulares. A faixa etária dos estudantes estava compreendida entre 15 e 18 anos, tendo média de 16,3 anos. Após o segundo encontro do estudo, os estudantes 8, 9 e 10 evadiram, por motivos pessoais. Com isso, o evento investigado passou a ser, portanto, uma turma voluntária, com sete estudantes de nível médio, no enfrentamento de problemas abertos em Física.

5.2 Metodologia de Ensino

Para implementação das atividades de ensino, organizamos cinco encontros, de aproximadamente 1h30min cada, com enfoque em resolução de problemas abertos em Física. O Quadro 5.1 apresenta o cronograma em que foram conduzidas atividades de resolução de problemas abertos.

A seguir, apresentaremos os problemas abertos que elaboramos e/ou selecionados para este estudo. Os problemas 3 e 5 serão apresentados resumidamente, tendo em vista que são muito extensos. No Apêndice B, encontram-se todos os problemas.

Problema 1: “Colisão de automóveis”

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?

Problema 2: “Resfriamento”

Você e alguns amigos estão organizando uma festa para 100 convidados, que acontecerá ao redor de uma piscina, num típico dia de verão. Às 6 h da manhã você deve colocar as bebidas para gelar em algumas caixas de isopor. Preocupado em mantê-las bem geladas, você busca estimar a quantidade suficiente de sacos de 5,0 kg gelo que devem ser comprados. Decidido a não desperdiçar dinheiro comprando uma quantidade exagerada de gelo, quantos sacos você deve comprar?

Problema 3: “Apólice de seguros”

Você foi recentemente contratado como investigador por uma companhia de seguros. Em seu primeiro dia, você é enviado para o local de um acidente entre um pequeno carro e um caminhão de entrega [...]. Você passa por uma série de etapas para prosseguir a sua investigação, tais como a análise do arquivo do segurado, entrevista a testemunhas oculares, análise da cena do acidente, revisão do arquivo médico do motorista e entrevista o médico assistente [...].

Cena do acidente

Colisão em ângulo reto (90°) entre o carro e o caminhão.

Parte frontal de carro esmagado: poucos centímetros restantes entre para-choques dianteiro e o centro da roda dianteira.

Lado direito do caminhão amassado com o impacto: 5 cm de profundidade [...].

Entrevista com o médico assistente

Médico: O cinto de segurança salvou a vida dela! Houve impacto considerável.

Você: Como você pode dizer?

Médico: Bem, a partir da experiência, posso dizer-lhe que uma aceleração do cinto de segurança deste tamanho corresponde a um impacto de 20 g a 25 g [...].

De posse de todos esses dados, o que você irá reportar ao seu chefe?

Problema 4: “Frenagem de automóveis”

Sua mãe está dirigindo para lhe levar ao IFSul, distraidamente, apreciando o belo dia, quando repentinamente percebe que o semáforo à sua frente acabara de trocar para o vermelho e, então, aciona os freios com grande intensidade, provocando a derrapagem do veículo. Muito nervosa, ela desce do veículo para se acalmar e poder seguir em frente. Infelizmente, um guarda de trânsito observava a manobra e, ao se aproximar, afirma que o veículo estava com velocidade acima do limite permitido na via. Como estudante de Física, você decide investigar a cena do ocorrido para contestar a multa que sua mãe está prestes a receber. Quais os principais elementos que você deve investigar e quais os argumentos físicos que você pode utilizar com o guarda de trânsito para contestar a multa por excesso de velocidade?

Problema 5: “Cena de filme”

[...] Você foi contratado como assessor científico de um popular programa de televisão. Neste show, os anfitriões analisam as acrobacias e efeitos especiais em vários filmes para determinar quão realistas eles são [...]. Sua primeira tarefa será preparar uma resposta à pergunta de um telespectador para o programa da próxima semana [...]. Como você já sabe, o nosso telespectador médio completou a física do ensino médio [...].

"Em crimes nos filmes de drama, muitas vezes vemos gângsteres serem baleados e, por isso, atirados a distâncias consideráveis, geralmente contra uma parede, após o impacto da bala. Quão realista é isso? "

Você decide falar com a pesquisadora do programa, a fim de descobrir quais os tipos de armas de fogo são usados nos filmes. "Eu sugiro que você dê uma olhada na calibre .44 Remington Magnum", diz ela. "É o tipo mencionado em filmes como "Dirty Harry" e "Taxi Driver". O projétil desse tipo de arma tem massa menor que uma fatia de queijo e sua velocidade de saída é bastante alta". Qual a sua conclusão?

Problema 6: “Flutuação dos corpos”

Você trabalha em um pequeno barco durante o verão e está ajustando um pedaço de madeira para a corrente da sua chave para evitar que ela afunde, caso a deixe cair na água. Quando o seu amigo (que estuda em uma Universidade de Tecnologia) vê isso, ele ri, e diz que um pedaço de madeira não é o suficiente para fazer a chave flutuar. O volume do pedaço de madeira é de aproximadamente meia xícara de café. Como você conhece alguns conceitos de Física, lança o seguinte desafio para ele: “Jogarei o conjunto (chave, corrente e pedaço de madeira) na água: se afundarem, perderei minha chave, mas se flutuarem, você deverá mergulhar e trazê-los de volta”. Quem ganhará o desafio?

Buscamos apresentá-los em ordem crescente de abertura e nível de dificuldade, baseando-nos em resultados da revisão da literatura, na qual identificamos trabalhos que sugerem que uma mudança radical de atividades com resolução de problemas fechados para problemas abertos é ineficiente (GE, CHEN, & DAVIS, 2005; GE & ER, 2005; DONDLINGER et al., 2015). Por esse motivo, buscamos ambientar minimamente os estudantes com esse tipo de atividade, discutindo, no primeiro encontro, três exemplos

de problemas abertos, com diferentes graus de exigência e dificuldade. Conforme a literatura, esse tipo de assistência contribui de forma significativa para que os estudantes identifiquem os elementos mais importantes para o processo de resolução dos problemas abertos, e auxilia na aprendizagem (GE & ER, 2005). Em todos os problemas propostos no estudo usamos algum tipo de assistência à aprendizagem, e optamos por aqueles mais utilizados na literatura: i) questões-estímulo, que se encontram no Apêndice C; ii) interação por pares; e iii) modelo de especialista.

Quadro 5.1: Síntese das atividades de ensino do estudo e seus objetivos.

Encontros	Atividades	Objetivos
1 (22/08/2016)	<p>a) Assinatura do Termo de consentimento informado e esclarecido por parte dos alunos (Apêndice D);</p> <p>b) Apresentação da pesquisa;</p> <p>c) Apresentação de três exemplos de problemas abertos/estimativa, a serem resolvidos em colaboração com o professor;</p> <p>d) Problema aberto 1 (“Colisão de automóveis”), a ser resolvido pelos estudantes, em pequenos grupos.</p>	<p>a) autorizar a participação e utilização dos dados obtidos no estudo, para fins educacionais;</p> <p>b) apresentar as principais características dos problemas abertos e engajar os estudantes na proposta do estudo.</p> <p>c) discutir o processo de solução de três exemplos de problemas abertos.</p> <p>d) evidenciar a necessidade de estimativas e idealizações para resolução de problemas abertos;</p>
2 (24/08/2016)	<p>a) Problema aberto 2: “Resfriamento”.</p> <p>b) Problema aberto 3: “Apólice de Seguro”.</p>	<p>a) evidenciar a necessidade de representação do problema, além de aprimorar a capacidade de estimar e idealizar;</p> <p>b) evidenciar a necessidade de definição e representação do problema, lançamento e avaliação de hipóteses e identificação das informações relevantes.</p>
3 (29/08/2016)	<p>a) Problema aberto 4: “Frenagem de automóveis”.</p> <p>b) Problema aberto 5: “Cena de filme”.</p>	<p>a) evidenciar a necessidade de representação do problema; idealizações; busca de informações; lançamento e teste de hipóteses; avaliação dos resultados.</p> <p>b) evidenciar a necessidade de definição e representação do problema; capacidade de fazer estimativas; lançamento e teste de hipóteses; avaliação dos resultados.</p>
4 (31/08/2016)	<p>a) Problema aberto 6: “Flutuação dos corpos”.</p>	<p>a) evidenciar a necessidade de definição e representação do problema; capacidade de fazer estimativas; argumentação; busca por informações para resolução do problema; autorregulação.</p>

5 (05/09/2016)	Entrevista	a) obter mais evidências a respeito do comportamento e do desempenho dos estudantes no enfrentamento de um problema aberto; analisar as etapas e os principais recursos cognitivos utilizados para resolver o problema.
---------------------------------	------------	---

Com a sequência de atividades elaboradas para este estudo, tínhamos a expectativa de que à medida que os alunos fossem ganhando experiência em resolver problemas abertos, evoluíssem em suas capacidades de fazer estimativas, idealizações, lançar e testar hipóteses, autorregular seus processos, dentre outros recursos cognitivos. Esperávamos, ainda, que essa sequência de resolução de problemas fosse suficiente para que apresentassem indícios de uma mudança em suas crenças e atitudes, e que reconhecessem que é preciso desenvolver uma série de recursos cognitivos a cada etapa de resolução dos problemas abertos, para atingir um nível superior de *expertise* em resolução de problemas abertos em Física.

5.3 Resultados

Nesta seção, apresentaremos os resultados do estudo. A seguir, passaremos a um breve relato de cada encontro.

5.3.1 Encontro 1: Estimativas

O primeiro encontro foi dividido em três etapas: na primeira, todos os estudantes assinaram um termo de consentimento informado e esclarecido (Apêndice D), autorizando a coleta de dados para a pesquisa e a sua divulgação para fins acadêmicos; na segunda etapa, buscamos apresentar brevemente aos alunos um panorama sobre resolução de problemas abertos, discutindo suas principais características e sua importância para a aprendizagem de Física, justificando a implementação deste estudo. Ampliamos essa discussão apresentando e debatendo com os estudantes três exemplos de problemas abertos, buscando evidenciar os aspectos mais fundamentais desse tipo de problema. Na terceira etapa, os estudantes resolveram, em pequenos grupos, e sem o auxílio do professor, o problema aberto “Colisão de automóveis”. A seguir, apresentamos o resultado das discussões resultantes dos três primeiros exemplos de problemas abertos, e do problema “Colisão de automóveis”.

Exemplo 1: Qual a ordem de grandeza do número de gotas de água que cabem em uma banheira?

O objetivo com este problema era evidenciar a necessidade de estimativas para resolução de problemas abertos. Incentivamos ao máximo que os alunos expressassem seus raciocínios e propusessem caminhos para solucionar o problema. Como era de se esperar, grande parte dos estudantes se mostrou tímida e não forneceu contribuições significativas para a resolução do problema, mesmo com os insistentes questionamentos e incentivos por parte do professor para que eles expressassem seus

raciocínios, exceto os estudantes 4 e 5. É importante destacar que esses dois alunos são colegas de curso, o que pode ter contribuído para que se sentissem à vontade para expressar seus raciocínios. Logo após a leitura do exemplo, o Estudante 5, um dos mais participativos do estudo, sugeriu que *“mais ou menos 20 gotas de um remédio para dor de cabeça preenchem uma colher de chá; é só isso que eu sei sobre gotas”*.

Como incentivo para que os alunos pensassem sobre esse caminho de solução, questionamos a respeito do volume de líquido que caberia em uma colher de chá, e obtivemos as seguintes respostas:

Estudante 5: *Acho que menos de 10 ml.*

Estudante 4: *Deve ser menos de 10 ml, porque 10 ml é uma tampinha cheia de xarope, e geralmente temos que tomar de 2,5 a 3 ml, que é menos de uma tampinha cheia.*

Dos demais estudantes, não conseguimos respostas a esses primeiros questionamentos. Após essas contribuições iniciais dos estudantes 4 e 5, procuramos estimar o tipo e o tamanho da banheira que fez parte da solução do exemplo, e obtivemos as seguintes contribuições:

Estudante 4: *Uma banheira quadrada ou retangular é mais fácil de calcular do que uma banheira redonda.*

Estudante 5: *Nos filmes a gente vê que uma pessoa deitada na banheira fica com os pés para fora.*

Estudante 8: *Inicialmente temos que saber o tamanho da banheira para poder determinar o número de gotas.*

Mesmo após estimarmos o tamanho da banheira e considerarmos o número de gotas de remédio que preenchem uma colher de chá, os alunos não foram capazes de fornecer mais contribuições significativas e apresentar uma solução pertinente ao problema. Mais do que isso, expressaram claramente grande dificuldade em transformação de unidades de medida, quando confrontados com a conversão entre as unidades mililitros, das gotas de água, e metros cúbicos, do volume da banheira. Apresentamos aos estudantes o seguinte raciocínio: 20 gotas de um remédio equivalem a 1 ml, aproximadamente. Ao considerarmos uma banheira com dimensões de 1,4 m de comprimento, 0,7 m de largura e 0,7 m de altura, teremos o volume da banheira e, conseqüentemente, o volume de água que cabe em seu interior. Dessa forma, basta apenas relacionar o volume de gotas de água com o volume de água da banheira para obtermos uma estimativa da quantidade de gotas de água que cabem em uma banheira. Ao final, os estudantes declararam terem compreendido o problema.

Dada a resposta ao primeiro exemplo, passamos ao segundo.

Exemplo 2: “Estime a potência necessária para uma pessoa subir, correndo, seis lances de escada”.

Nos três diferentes horários identificamos nos alunos características e atitudes muito semelhantes, como a deficiência de conhecimento de domínio específico, busca

pela “fórmula” da potência mecânica como o aspecto mais essencial do problema e dificuldades com estimativas de tempo e energia. O Estudante 5, por exemplo, imediatamente após a leitura do problema afirmou que: “... *eu não sei nada, eu não sei o que é potência, mas se me mostrares a fórmula eu vou saber o que é!*”. Esse tipo de comentário reforça a ideia de que ensinar Física com ênfase em resolução de listas de exercícios/problemas fechados não conduz, necessariamente, a uma aprendizagem significativa.

Outras contribuições que nos levaram a identificar as dificuldades elencadas acima, foram:

Estudante 7: *Acho que uns 5 minutos uma pessoa leva para subir correndo seis lances de escada.*

Estudante 1: *Uns 2s por lance.*

Estudante 7: *Não é massa vezes gravidade e mais alguma coisa?*

Estudante 6: *Acho que é vezes altura; a fórmula.*

Estudante 4: *Potência é R [resistência elétrica] sobre i [corrente elétrica], né!?*

Após discutirmos brevemente sobre o conceito de potência mecânica, passamos a estimar a altura dos lances de uma escada, o que foi bastante simples para os dois estudantes do Curso Técnico de Edificações. Um deles afirmou: “*Cada degrau deve ter de 16 cm a 20 cm [...] Então podemos estimar em 17 cm [a altura de cada degrau]*”. Com o envolvimento dos estudantes em buscar uma solução para o problema, um deles afirmou gratuitamente que: “*bem mais legal que a Física normal*”. Colaborativamente, chegamos ao seguinte caminho de solução: cada lance da escada possui 12 degraus, com 18 cm cada um. Estimamos que uma pessoa, com massa de 70 kg, subirá os seis lances (perfazendo 13 m de subida, aproximadamente) em 20 segundos, desenvolvendo, assim, uma potência de 455W. Chegada a uma estimativa de valor compatível com o mundo real, passamos ao terceiro e último exemplo de problema aberto.

Exemplo 3: Durante uma viagem de férias você é convidado por um amigo a assistir um jogo profissional de tênis. Impressionado com a velocidade com que um jogador é capaz de sacar a bola, você resolve estimar a energia liberada durante um saque e o tempo que uma lâmpada de 9W ficaria acesa, caso a energia da bola pudesse ser totalmente convertida em energia elétrica. Quais os valores encontrados?

A discussão desse problema tinha como objetivo ressaltar a necessidade de se fazer estimativas, idealizações e suposições, para propor um caminho possível de solução ao problema. Questionamos os alunos a respeito do tipo de energia que deveríamos considerar para a bola de tênis logo após um saque, e o Estudante 7 prontamente afirmou que se tratava de energia cinética: “[para determinar a energia cinética] *é massa vezes volume ao quadrado, dividido por dois*”. Argumentamos que a energia cinética de uma partícula é decorrente do seu movimento e que, portanto, o símbolo v da equação a que o estudante se referia era velocidade da bola em

movimento, e não seu volume. Passamos, em seguida, a estimar a massa e a velocidade da bola de tênis no saque de um jogo profissional. Em relação à massa, recebemos os seguintes comentários:

Estudante 6: *Estou pensando em comparar com um pacotinho de queijo.*

Estudante 4: *Umas 200 g.*

Estudante 5: *Uma bola de tênis é bem menos que um presunto; ela é muito levinha; umas 30g.*

Estudante 4: *Eu não tenho noção de peso.*

O Estudante 5 argumenta que se julga capaz de estimar a massa da maioria dos objetos porque costumava lidar com uma balança de precisão quando mais jovem. Essa afirmação pode ser considerada como um indício de que experiências cotidianas são úteis para a solução de muitos problemas abertos, corroborando com a literatura investigada. Quanto à estimativa da velocidade da bola, dois alunos expressaram suas linhas de raciocínio.

Estudante 8: *Se nos jogos de vôlei, que assisti nas olimpíadas, sacam uma bola a 100km/h, a bola de tênis deve ser mais. Acho que uns 200 [km/h].*

Estudante 4: *Acho que uns 160 [km/h]. Se uma bola de vôlei é 100, cento e poucos [km/h].*

Após estimarmos a massa e a velocidade da bola de tênis, discutimos algumas idealizações, como ausência de atrito e velocidade do vento. Quando passamos a estimar matematicamente a energia cinética da bola, grande parte dos alunos argumentou que tinha dificuldades em conversão de unidades, em geral. Quanto à conversão das unidades de velocidade, de km/h para m/s, dois estudantes afirmaram que não lembravam se deveriam multiplicar ou dividir por 3,6. Temos a sensação de que os estudantes não compreendem o porquê do fator de conversão “3,6”, e supomos que se o problema envolvesse a conversão para outra unidade de velocidade, como cm/min, grande parte dos alunos, se não todos, não saberia como agir ou usaria automática e erroneamente o fator 3,6. Colaborativamente, consideramos que a massa de uma bola de tênis pode ser estimada em 50 g, e a média de velocidade de um saque profissional, 200 km/h. De posse dessas informações, é possível conhecer a energia cinética da bola (~76J). Se essa energia cinética for transferida integralmente a uma lâmpada de 9W, a deixaria funcionando durante oito segundos, aproximadamente.

Discutidos os três exemplos de problemas abertos, passamos à terceira etapa do primeiro encontro. Solicitamos que os alunos se reunissem em pequenos grupos para que pudessem discutir os conhecimentos envolvidos no primeiro problema aberto, “Colisão de automóveis”, e proporem uma possível solução. Os dez alunos que participaram deste encontro se distribuíram em quatro grupos. Foi solicitado a eles que expressassem, ao máximo, seus raciocínios e caminhos adotados para solução do problema, e que ao final do encontro, entregassem por escrito todas suas contribuições.

Esse primeiro problema aberto trata da energia dissipada na colisão frontal entre dois automóveis que circulavam na velocidade máxima de uma autoestrada brasileira. Como havíamos discutido a respeito dos conceitos principais de energia cinética minutos antes, no exemplo 3, tínhamos a expectativa de que os estudantes não tivessem grandes dificuldades com esse conhecimento, como de fato aconteceu, exceto no grupo com os estudantes 4 e 5, que manifestaram não terem muitos conhecimentos sobre energia, mas que se utilizariam das discussões feitas anteriormente, como nota-se na manifestação do Estudante 4: *“Eu não sei muito sobre energia, vamos olhar o que o professor fez anteriormente”*.

A partir da leitura do problema, as discussões ficaram voltadas, inicialmente, em estimar a massa e a velocidade dos automóveis considerados no problema. Todos os grupos estimaram adequadamente a velocidade do automóvel em uma autoestrada, atribuindo valores que variam de 80 km/h a 110 km/h, mas, no entanto, para estimar a massa do veículo, alguns alunos sugeriram valores muito distantes da realidade. A estimativa de massa proposta pelo Estudante 3, especialmente, chamou bastante atenção. Segundo ele: *Se é um carro popular, não é ‘daqueles gigantão’, então ele é um pouquinho mais leve. Deve ser em torno de uns 80 quilos? Não, é muito! Não, mas um carro é pesado! Então é 80 ou 60. Não, é uns 80 a 100 então*. Imaginando que o estudante pudesse estar confundindo massa com velocidade, questionamos:

Professor: *80 a 100 o quê? De qual grandeza física estás falando?*

Estudante 3: *a massa do carro.*

O estudante complementa seu raciocínio dizendo que: *se uma pessoa levanta um carro, e uma pessoa tem 80 kg, então o carro tem 80 kg*. A partir das estimativas para massa e velocidade dos veículos, os estudantes passaram a determinar a energia cinética de cada automóvel e a potência dissipada na colisão. Na sequência, como ilustração, apresentamos a resposta textual fornecida pelos estudantes 4 e 5, e a Figura 5.1, que apresenta a solução numérica desenvolvida pelos estudantes.

Para a resolução do problema, inicialmente foi pensado a velocidade máxima nas autoestradas brasileiras, sendo considerado 120 km/h a partir dos conhecimentos de cada um da dupla. Depois pensou-se na massa de um carro, comparando-a com vários elementos e/ou animais, incluindo elefantes, determinando uma média de 1,5t para um carro popular. Após isso, aplicamos as informações encontradas na fórmula da energia cinética, multiplicamos por 2 porque eram dois carros e encontramos o resultado.

$$\begin{aligned}
 V &= 120 \text{ Km/s} \\
 m &= 1,5t \\
 EC &= \frac{1500 \cdot (33,33)^2}{2} \\
 EC &= 833,333 \cdot 3333 \text{ J} \times 2 \\
 EC &= 1.666,333 \cdot 35 \text{ J} \\
 ACD &= \frac{1.666,333,35}{\Delta t} \\
 \Delta T &= 16,663,33 \text{ }
 \end{aligned}$$

Figura 5.1: Resposta fornecida pelos estudantes 4 e 5 ao problema aberto “Colisão de automóveis”.

5.3.2 Encontro 2: Idealização e representação

O segundo encontro contou com a participação de doze estudantes, dois a mais que no encontro anterior. Esses dois novos estudantes não haviam se inscrito, mas manifestaram interesse em participar do estudo. Diferentemente do primeiro, todos os estudantes participaram das atividades didáticas no mesmo horário.

Embora tivesse sido planejada a discussão dos problemas 2 e 3, somente o problema 2 foi apresentado, devido ao atraso de alguns minutos dos estudantes para o início das atividades de ensino, por compromissos acadêmicos, e pela maior quantidade de tempo solicitada por eles para discussão do primeiro problema apresentado.

O problema 2, intitulado “Resfriamento”, consiste em estimar a quantidade de sacos de gelo, de 5 kg, necessários para resfriar uma quantidade de bebida suficiente para uma festa de 100 pessoas, em um típico dia de verão. Para este problema, tínhamos a expectativa que, minimamente, os estudantes buscassem estimar a variação de temperatura do líquido, sua massa e seu calor específico, e utilizassem o princípio das trocas de calor. No entanto, de maneira geral, não foi o caminho que os estudantes propuseram para chegar a uma resposta final.

Inicialmente, preocuparam-se exageradamente em determinar o tamanho de uma caixa de isopor para que pudessem colocar as latas de bebida, como podemos perceber nas manifestações de um grupo de estudantes (1, 2 e 8): “No primeiro instante, procuramos descobrir o tamanho da caixa de isopor que irá suportar as bebidas”. Em seguida, passaram a estimar a quantidade de bebida que cabia no interior de cada caixa de isopor e a quantidade de gelo necessária para preencher completamente o recipiente, não atentando para a quantidade de gelo que seria suficiente para reduzir a temperatura do líquido até a temperatura ideal para ser consumida, como podemos perceber nas transcrições a seguir.

Estudantes 3, 4 e 5: [...] decidimos calcular a partir do volume, calculando o volume da caixa, do gelo e das latas de cerveja. Calculamos

o volume de uma lata, de um saco de gelo e inserimos o volume das 200 latas preenchendo o restante com gelo e resultando em 54 sacos.

Estudante 9: *eu acho que nosso resultado está errado, porque a gente achou 123 caixas [de isopor], sem levar em consideração o gelo.*

Estudantes 1, 2 e 8: *Estimamos que em cada caixa de isopor caiba 20 latinhas e 3 sacos de gelo de 5 quilos cada. Utilizamos o valor de 63 sacos para 21 caixas térmicas, contando que cada pessoa consuma 4 latinhas de 300 ml.*

Os estudantes 6 e 7 em certo momento da discussão afirmaram que embora tivessem chegado a um resultado final, não haviam utilizado nenhuma equação física. Segundo eles, até imaginaram que pudessem utilizar a equação do “que macete”, fazendo referência à equação fundamental da calorimetria ($Q = m \cdot c \cdot \Delta T$), mas que não puderam prosseguir com esse caminho de solução porque não dispunham do calor específico da bebida, de sua massa e do tempo de derretimento do gelo para colocar na equação.

Percebe-se que embora os estudantes tenham cogitado alguns argumentos físicos para resolver o problema, como o conceito de calor específico, apresentaram dificuldades no conhecimento de domínio específico que os impediram de prosseguir por esse caminho de solução. Confundiram a variação de temperatura com intervalo de tempo, muito provavelmente porque decoraram uma equação, mas não a compreenderam; provavelmente não sabem a relação entre as grandezas físicas envolvidas na equação fundamental da Calorimetria, à qual se referem como “que macete”. Na seção seguinte, sobre os resultados do estudo, discutiremos mais detalhadamente essas dificuldades.

Ao final do encontro, os estudantes 8, 9, 10, 11 e 12 informaram que lamentavelmente não poderiam estar presentes nas datas combinadas para os próximos encontros, em virtude de estarem em compromissos esportivos, representando a instituição em outra cidade. Sendo assim, somente sete estudantes (Estudante 1, 2, ..., Estudante 7) continuaram participando do estudo.

5.3.3 Encontro 3: Hipóteses e avaliação de resultados

No terceiro encontro, os estudantes 6 e 7 não puderam comparecer, porque estavam preparando-se para uma última avaliação de outra disciplina. Cinco estudantes, divididos em dois grupos, participaram deste terceiro encontro.

Propusemos aos estudantes o terceiro problema aberto, intitulado “Apólice de Seguro”, que essencialmente coloca o estudante como investigador de uma companhia de seguros que, em seu primeiro dia de trabalho, precisa avaliar a cena de um acidente e construir um relatório, informando à companhia se o segurado foi criminalmente responsável ou negligente, ocasionando o acidente. Para tanto, o investigador deve coletar e analisar um bom conjunto de evidências.

A partir desse encontro, oferecemos aos estudantes pequenos quadros-brancos, com dimensões de 120cm de comprimento e 90cm de largura, para que pudessem compartilhar suas ideias. Tínhamos a expectativa de que essa ferramenta os incentivasse a compartilhar seus apontamentos, o que não acontece quando escrevem individualmente em seus cadernos. A Figura 5.2 mostra estudantes utilizando o quadro-branco com o intuito de representar o problema e argumentar sobre a solução do problema, fazendo uso de gráficos, tabelas e figuras pictóricas.

Os estudantes iniciaram a tentativa de solução destacando a informação dada sobre a desaceleração¹¹ no impacto entre os dois veículos: impacto de 20g a 25g.

Estudante 4: *Olha, 20 a 25 vezes a aceleração da gravidade. Eu acho que podemos encontrar a velocidade por aqui, colocando na fórmula da aceleração.*

Estudante 2: *E esse 20 vezes a aceleração da gravidade?*

Estudante 1: *Se a aceleração é 10, eu botei 10 vezes 20 deu 200, daí deu 720km/h; eu acho que não é isso.*



Figura 5.2: Estudantes em processo de resolução do problema aberto 3.

Percebemos que a informação da desaceleração do veículo durante o impacto não foi bem compreendida pelos estudantes. Em pelo menos um momento da discussão, em cada grupo, foi considerado que o símbolo “g”, utilizado para representar a aceleração gravitacional, era “gramas”, unidade de medida de massa.

Estudante 3: *O tamanho do impacto é de 20 a 25, o que significa?*

Estudante 1: *Não sei. Se pegar uma coisa de 20 gramas e jogar, sei lá!*

Estudante 3: *[...] eu quero utilizar os 20 a 25 gramas da mulher.*

Estudante 5: *... isso é a aceleração, é o impacto dela no cinto. Tá, e as gramas será que interessa? Porque é de 20 a 25 gramas.*

¹¹ Fomos tolerantes com o termo desaceleração, ao invés de aceleração negativa, por estar presente em diversos livros didáticos de Ensino Médio.

Desde as primeiras manifestações sobre o problema, os estudantes já demonstraram dificuldades conceituais relacionadas à aceleração. Alguns demonstraram desconhecer o significado físico de aceleração. Provavelmente, quando estudaram tal conceito buscaram memorizar uma equação, sem compreender adequadamente a relação entre velocidade e tempo. A título de exemplificação, apresentamos o questionamento do Estudante 3 para seus colegas: *aceleração é massa vezes velocidade?*

O caminho de solução adotado pelos estudantes 1 e 3 teve como ponto de partida estimar a distância percorrida pelo automóvel (estimaram em 35 m) e o intervalo de tempo até a colisão com o caminhão (20 s). Os estudantes avaliaram o resultado encontrado e concluíram que o procedimento adotado foi, de alguma forma, incorreto. O Estudante 1 propôs, então, utilizar o conceito de trabalho, considerando a deformação do caminhão, de 5 cm, como o deslocamento. Em suas palavras: *“Quem sabe trabalho, que é força vezes deslocamento? Deslocamento pode ser os 5 cm, não?”* No entanto, os estudantes não prosseguiram com esse caminho de solução. Passados os 40 minutos reservados à solução deste problema, os estudantes consideraram esgotadas as possibilidades de propor outras considerações, e que não eram capazes de fornecer um resultado compatível com valores do mundo real.

Seguindo as atividades de ensino programadas, propusemos aos estudantes o quarto problema aberto, intitulado “Frenagem de um automóvel”, que essencialmente exige que os estudantes estimem a velocidade de um veículo antes de frear bruscamente, deixando marcas de derrapagem na pista. Recomendamos aos alunos que pesquisassem na *internet* as informações que julgassem necessárias para o problema e que não poderiam ser facilmente estimadas por eles. A ideia fundamental era que os estudantes pesquisassem o coeficiente de atrito cinético entre os pneus do carro e o piso, caso fosse necessário para a solução que adotassem.

O grupo formado pelos estudantes 1, 2 e 3 apresentou deficiência de conhecimento de domínio específico desde os primeiros minutos de resolução do problema. O Estudante 3, ao ler uma questão-estímulo proposta, sobre a importância (ou não) do coeficiente de atrito entre os pneus e o solo para o processo de solução do problema, afirmou que desconhece tal conceito físico. O diálogo a seguir evidencia algumas das dificuldades conceituais.

Estudante 1: *Coeficiente de atrito? Não lembro de nada disso.*

Estudante 3: *O coeficiente de atrito entre os pneus e o asfalto é relevante para o problema? É!*

Estudante 2: *Tem [em breve pesquisa na internet] atrito estático e dinâmico. O que é isso?*

Estudante 3: *Atrito tem a ver com distância.*

Estudante 1: *Isso! Ou tempo [...] eu vou colocando as fórmulas aqui porque é importante!*

Estudante 3: *Pesquisa a unidade da força peso.*

Estudante 1: *É kg.*

O grupo com os estudantes 4 e 5, ao contrário do grupo anterior, lançou bons argumentos iniciais, considerando o movimento do veículo desacelerado entre o início e o final da derrapagem. O Estudante 5 lança a seguinte hipótese, usada como caminho para a solução do problema: *“na verdade, a gente tem que achar a desaceleração do carro, por aí a gente vai ter a distância e nosso argumento contra o guarda é que se ela tivesse acima de 60 [km/h], a distância seria maior do que a que a gente encontrar no cálculo”*. Para o cálculo da aceleração do veículo os estudantes não fizeram uso de argumentos físicos; simplesmente utilizaram o valor de $7,8 \text{ m/s}^2$ para a aceleração máxima de um veículo em piso seco, valor esse obtido na pesquisa que fizeram na *internet*. Ao utilizarem tal valor de aceleração para chegarem a um resultado final, os estudantes fogem do contexto do problema, pois o atrito cinético, que deveria ser considerado no momento da derrapagem dos pneus, não é o tipo de força de atrito causadora da máxima aceleração de freamento de um veículo.

5.3.4 Encontro 4: Argumentação e autorregulação

Neste quarto encontro foram propostos dois problemas abertos (“Cena de filmes” e “Flutuação de corpos”) aos sete estudantes, organizados em três diferentes grupos. No problema “Cena de filmes”, o(a) aluno(a) é colocado(a) como assessor(a) científico de um programa de televisão, e tem que avaliar o quão realista é uma pessoa ser jogada a grandes distâncias após ser atingida por um projétil de arma de fogo. Para resolver o problema, os três grupos de estudantes se propõem, inicialmente, a estimar a massa e a velocidade do projétil, como também a massa da pessoa atingida pelo disparo. Dois grupos deram como resposta:

Estudante 1: *coloca 350 m/s [para velocidade do projétil]; para a massa da pessoa: 80kg;*

Estudante 3: *A velocidade inicial é zero.*

Estudante 7: *a massa do projétil é 20g e da pessoa 80kg.*

Já o terceiro grupo, formado pelos estudantes 4 e 5, confundiram os conceitos de massa e peso, e suas respectivas unidades de medida, como se pode perceber nas falas dos estudantes e na contribuição por escrito, que apresentamos a seguir:

Estudante 4: *Qual a unidade de medida de massa?*

Estudante 4: *... a massa é peso vezes a gravidade, mas daí fica em quilos, né!?*

$$m = P \cdot g$$

$$m = 0,1 \cdot 9,8$$

$$m = 0,98$$

A partir da definição das estimativas das grandezas físicas, o primeiro grupo de estudantes (E1, E2 e E3), o que mais apresentou contribuições significativas a esse problema, lançou algumas hipóteses, como a de igualar a energia cinética do projétil ao trabalho de uma força constante, a de conservação de energia cinética e a de conservação da quantidade de movimento. Todos os caminhos de solução buscados por

esses estudantes apresentavam equívocos, como perceberemos na sequência. A Figura 5.3 apresenta um caminho de solução indicado pelos estudantes 1, 2 e 3.

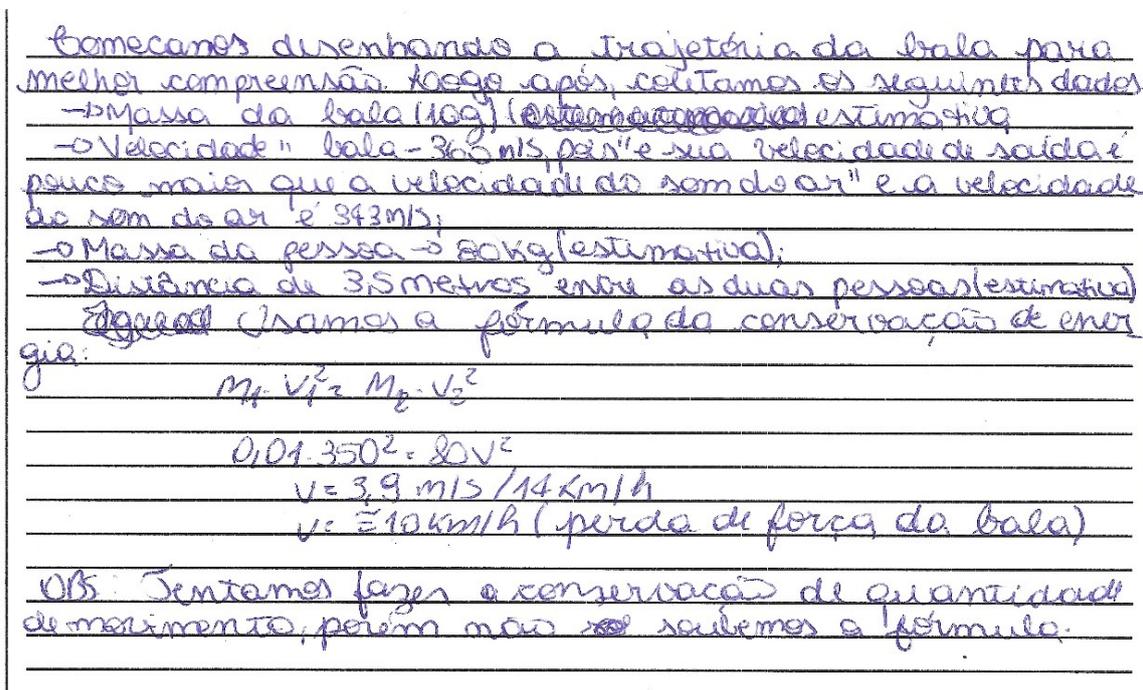


Figura 5.3: Possível caminho de solução ao problema “Cena de filmes” apresentado estudantes 1, 2 e 3.

Outro caminho de solução adotado pelos estudantes, apresentado a seguir, previa a utilização do teorema do trabalho-energia cinética. A ideia era determinar a força do impacto, tendo em vista as velocidades inicial e final do projétil e seu deslocamento. No entanto, os alunos estimaram, equivocadamente, o deslocamento do projétil entre a arma e a pessoa, e não o deslocamento enquanto ocorre a variação da velocidade.

Estudante 1: Podemos usar isso [energia cinética] igual a isso [trabalho de uma força constante]; podemos estimar o deslocamento da bala.

Estudante 3: Como?

Estudante 1: Tu podes estimar a distância que tu estás da pessoa.

Estudante 3: Tá, mas a gente vai ver o deslocamento entre, da onde ela [projétil] saiu até onde a pessoa tá, ou ...

Estudante 1: do cano da arma até a pessoa.

Estudante 3: Da arma até a pessoa?

Estudante 1: Exatamente.

$$\begin{aligned}
 E_c &= W \\
 \frac{m \cdot v^2}{2} &= F \cdot d \\
 \frac{0,01 \cdot 350^2}{2} &= F \cdot 3,5 \\
 F &= 175 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Estudante 3: E se a gente estipular uma força que é necessária para uma pessoa de 80 kg sair do lugar? E daí a gente vê se essa força [a que acabaram de determinar] é suficiente.

Estudante 3: *Eu acho que se a bala fica na pessoa, eu acho que ela anda alguma coisa, mas se a bala passa, atravessa, eu acho que [a pessoa fica no mesmo lugar].*

Os outros dois grupos não conseguiram avançar na solução do problema, muito porque apresentaram grandes dificuldades conceituais, e/ou porque acreditaram que a solução do problema estava simplesmente na identificação de uma fórmula. O diálogo apresentado a seguir, entre os estudantes 4 e 5 expressa bem os problemas conceituais apresentados e as crenças dos estudantes:

Estudante 5: *Eu não sei a fórmula do trabalho.*

Estudante 4: *Eu sei que trabalho é uma área; a gente tem que ver uma fórmula [...]. A gente anotou a velocidade do som no ar.*

Pesquisador: *E qual a velocidade do som no ar?*

Estudante 4: *É a velocidade da luz. Ou não? [...] aqui óh, força é igual a massa vezes aceleração.*

Estudante 5: *e a aceleração?*

Estudante 4: *É a velocidade. Isso não é uniforme, né!? O movimento?*

Estudante 5: *da bala é.*

Estudante 4: *Isso aqui é a força do projétil:*

$$F = m \cdot a$$

$$F = 0,98.343$$

$$F = 336,14N$$

Os estudantes 6 e 7 apresentaram pouca evolução na solução do problema. Além de estimar a massa e velocidade do projétil, cogitaram que um caminho adequado para a solução seria através da conservação da quantidade de movimento, mas afirmaram não ter conhecimento suficiente para avançar na resolução do problema. Por fim, como contribuição final, os estudantes supõem que “A força [que o projétil exerce na pessoa] deve ser maior que o peso dele [da pessoa] para poder jogar na parede”.

No segundo problema aberto proposto no encontro, “Flutuação dos corpos”, os estudantes foram divididos em dois grupos. O primeiro grupo, formado pelos estudantes 1, 2 e 3, começou o problema buscando identificar o tópico do conteúdo envolvido e evidenciar informações relevantes, como se pode perceber a seguir:

Estudante 1: *Acho que isso tem a ver com empuxo. Te lembras do empuxo?*

Estudante 2: *Eu não lembro de empuxo.*

Estudante 1: *Uma bola de praia, você coloca ela dentro da água, mas ela não afunda. Tem o volume dentro da água.*

Estudante 3: *Embora a gravidade empurre ela pra baixo, mas a força de empuxo é igual ou um pouquinho maior, que a equilibra.*

Estudante 1: *Vai depender da densidade.*

Estudante 3: *E do volume do objeto.*

Estudante 1: *Vai ser diferente colocar uma pedra ou uma bola, porque a pedra tem uma densidade bem maior.*

A partir da definição do conteúdo e das grandezas físicas relevantes, os estudantes passaram a etapa de estimar o volume e a densidade da madeira, e

discutiram quais as unidades de medida seriam as mais adequadas. Buscando estimar a massa da madeira, os estudantes chegaram a um processo de maior argumentação física, como se pode perceber no trecho a seguir:

Estudante 1: *Mas a gente não sabe o volume deslocado.*

Estudante 3: *A gente tem que estipular uma massa para chave e para corrente, que está ligando a chave na madeira. Precisa porque o volume deslocado vai ser a massa deles.*

Estudante 1: *Mas se ele vai boiar, o volume deslocado não é todo.*

Estudante 3: *‘Tá’, mas é grade parte. Saiu a água que estava lá e ficou esses objetos. Não? Eu acho que sim.*

Estudante 1: *A chave afundaria. O que a gente quer ver é se a madeira seguraria a chave.*

Estudante 3: *O que a gente não sabe é o volume deslocado.*

Estudante 1: *A gente teria que saber o empuxo para descobrir o volume deslocado.*

Estudante 1: *Se ela [a madeira] afundar seria os 80 [cm³ de volume deslocado]. Eles querem saber, será que sim, será que não? Daí a gente tem que fazer testes.*

Estudante 1: *O empuxo tem que ser mais forte que o peso da madeira, para boiar. [...]. A massa de tudo, a gente tem que saber a massa de tudo junto.*

Para estimar a massa do conjunto chave, corrente e madeira, os alunos utilizaram objetos ao seu redor, em sala de aula, como apagador, canetas, borrachas, chegando a um valor de 150g. Lançaram a hipótese de que o peso (1,5N) deveria ser igual à força de empuxo para que o sistema flutuasse. Ao utilizar a equação do empuxo, no entanto, os estudantes deixaram de utilizar a densidade da água, o que gerou um resultado final incorreto. A Figura 5.4 mostra a organização dos estudantes para responder o problema, o caminho de solução adotado e a resposta final.

O segundo grupo de estudantes (E4, E5 e E7) iniciou o problema estimando o volume do objeto de madeira, adotando 50 ml. A partir disso, buscaram determinar a densidade da madeira, através da determinação de sua massa. O Estudante 6 afirma que “o objeto tem que ter massa menor que 50g, umas 20g, para que a densidade seja menor que 1 [g/cm³]”. Embora os estudantes tenham considerado como condição para o sistema flutuar que a madeira tivesse densidade menor que a água, e já tivessem algumas estimativas do volume e da massa da madeira, os estudantes não conseguiram evoluir na solução do problema. Ao final, apresentaram como resposta apenas: “Foi constatado que a densidade da madeira em relação à água, faria com que a mesma flutuasse se a sua massa for maior que a chave e que a corrente. [...] A densidade da madeira mais a densidade da chave precisam ser menores do que a densidade da água”.

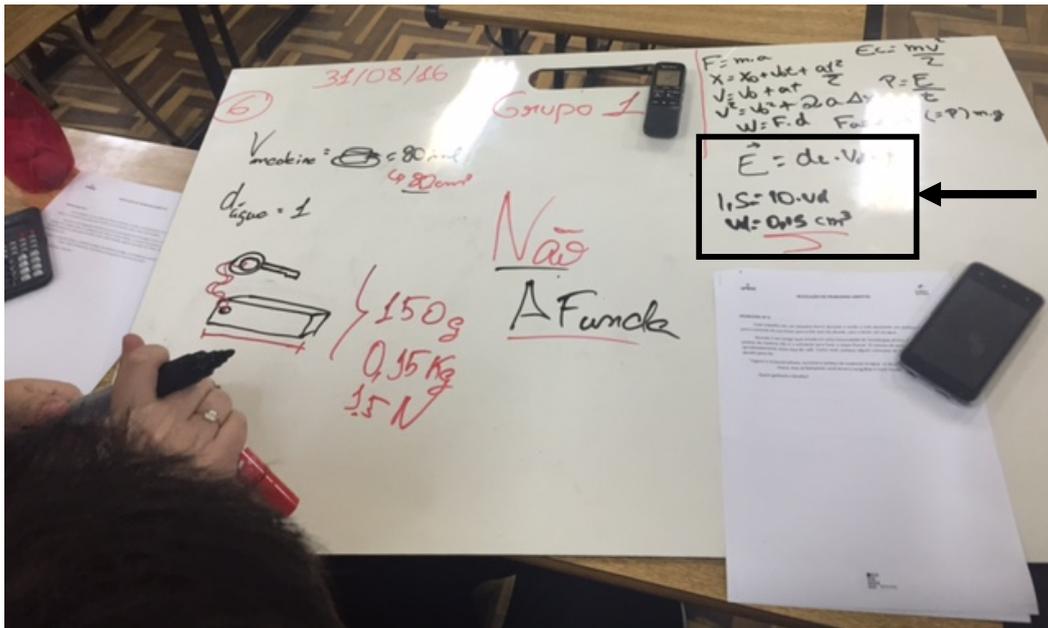


Figura 5.4: Solução ao problema “Flutuação dos corpos” apresentada pelos estudantes 1, 2 e 3. Ênfase na tentativa de solução do problema pela equação do empuxo.

5.3.5 Encontro 5: Entrevista

Neste encontro foi realizada uma entrevista individual para investigar as reações, dificuldades e atitudes de cada estudante em relação ao módulo didático, assim como o desempenho individual na resolução de um problema aberto. Os resultados da entrevista serão apresentados e discutidos em uma próxima seção.

5.4 Análise dos Resultados

Nesta seção apresentamos os resultados do estudo, decorrentes da análise dos dados coletados com os quatro instrumentos utilizados (protocolo de avaliação; caderno de campo; vídeo-filmagens e entrevista). Especialmente a respeito do protocolo de avaliação cabe destacar a forma como procedemos: a partir da análise dos dados obtidos com o caderno de campo e com vídeo-filmagens, consideramos, para cada item do protocolo de avaliação, um dos três níveis (satisfaz, em parte ou insatisfaz). Esse procedimento foi adotado para cada estudante, em todos os problemas abertos propostos, logo após cada encontro.

Definição e representação do problema

Nossos dados evidenciam que os estudantes apresentaram dificuldades já na primeira etapa de resolução dos problemas, o que inevitavelmente afeta a qualidade de sua resolução. Identificar o tópico do conteúdo, considerando relações fundamentais entre as grandezas físicas do problema é um dos elementos em que nitidamente os estudantes apresentaram dificuldades. No quinto problema aberto, “Cena de filme”, que exigia conhecimento a respeito de colisão entre um projétil e uma pessoa, os estudantes 6 e 7 não foram capazes de evoluir na representação do problema, por,

dentre outros aspectos, não terem identificado o tópico do conteúdo abordado, como se pode perceber no breve diálogo entre esses estudantes:

Estudante 7: *Tem a ver com força de atrito, ação e reação?*

Estudante 6: *Não sei.*

Estudante 7: *A força [que o projétil exerce na pessoa] deve ser maior que o peso dele [da pessoa] pra poder jogar na parede. Eu acho que é isso. Eu não me lembro a conta.*

Estudante 6: *A gente está bem perdida.*

No problema 6, sobre flutuação dos corpos, um grupo de estudantes (1, 2 e 3) embora tenha mencionado que uma das grandezas fundamentais para resolução do problema era a força de empuxo, não foi capaz de identificar as grandezas físicas essenciais para desenvolver um caminho de resolução para o problema. Com o intuito de prosseguir na atividade, optaram por pesquisar na internet a equação do empuxo e as grandezas físicas vinculadas a esse conceito. Já no segundo problema aberto, sobre o princípio físico das trocas de calor, oito dos estudantes não foram capazes de identificar o envolvimento desses conceitos físicos para uma possível solução do problema. Apenas um grupo (estudantes 6 e 7) mencionou que chegaram a considerar a equação fundamental da calorimetria, mas que não tinham conhecimento conceitual necessário para identificar, no problema real, todas as grandezas físicas para a solução.

A capacidade dos estudantes em fazer estimativas das grandezas físicas necessárias à resolução do problema foi outra habilidade relativamente difícil de ser posta em ação pelos estudantes. Consideramos, a título de exemplificação, os comentários feitos pelos estudantes 3 e 4 quando confrontados com o primeiro problema aberto, no qual era necessário estimar a massa de um veículo popular.

Estudante 3: *Se uma pessoa levanta um carro, e uma pessoa tem 80 kg, então o carro tem 80 kg.*

Estudante 4: *só uma tonelada? Eu não tenho ideia de massa [...] eu não tenho noção de peso.*

As dificuldades para realizar estimativas não ficaram restritas apenas à massa dos corpos, mas também com estimativas de comprimentos e forças. Para velocidade, no entanto, os estudantes foram capazes de fazer estimativas com valores condizentes com o mundo real. No problema aberto proposto na entrevista individual, que será discutida na próxima seção, obtivemos mais evidência relacionadas à capacidade de fazer estimativas.

O conhecimento conceitual (ou conhecimento de domínio específico) é, sem dúvida, um dos recursos cognitivos mais importantes para resolução de problemas, como bem identificado na literatura, e percebemos como um dos maiores obstáculos enfrentados pelos nossos estudantes no enfrentamento dos problemas abertos propostos neste estudo. A falta de conhecimento conceitual dos estudantes 6 e 7 para desenvolver um caminho de solução ao problema 2, baseado em argumentos físicos, fica bem evidente no breve diálogo que apresentamos a seguir:

Estudante 6: *a gente tentou usar o “que macete” [$Q = m.c.\Delta T$], mas não deu, porque a gente não sabe o calor específico da bebida.*

Estudante 7: *Não é isso, a gente até poderia fazer, mas a gente não sabe qual tempo usar aqui [apontando para a variação de temperatura].*

Pesquisador: *O tempo onde?*

Estudante 6: *do que macete [...] mas a gente teria que saber a massa da bebida e massa da lata. Para saber a massa da lata a gente teria que saber a densidade, e não sei.*

Além dos conhecimentos sobre trocas de energia via calor, percebemos, também, grande dificuldade de conhecimento de domínio específico por parte de alguns estudantes em relação ao conceito de aceleração; muitas vezes, confundiram aceleração com velocidade. O Estudante 3, por exemplo, sugeriu utilizar a aceleração como sendo o produto da massa de uma partícula e sua velocidade, ou seja, confundiu com o momento linear. Já o Estudante 4, ao buscar argumentos para resolver o terceiro problema aberto, questionou um de seus colegas, o Estudante 5, em relação à *fórmula* da aceleração gravitacional da Terra, o qual, por sua vez, respondeu que não tinha conhecimento sobre o assunto. A seguir, apresentamos o caminho de solução adotado pelos estudantes 4 e 5 para o quinto problema aberto, onde ficam evidenciados alguns problemas conceituais relativos à massa, aceleração e leis de Newton.

Estudante 4: *... a massa é peso vezes a gravidade, mas daí fica em quilos, né!? Daí fica:*

$$\begin{aligned}m &= P.g \\m &= 0,1.9,8 \\m &= 0,98\end{aligned}$$

Pesquisador: *E qual a velocidade do som no ar?*

Estudante 4: *É a velocidade da luz. Ou não?*

Estudante 5: *e a aceleração?*

Estudante 4: *É a velocidade [...]. Nós vamos concordar que isso aqui [velocidade do som no ar] é a aceleração?*

Estudante 5: *Isso.*

Estudante 4: *Isso aqui é a força do projétil:*

$$\begin{aligned}F &= m.a \\F &= 0,98.343 \\F &= 336,14N\end{aligned}$$

No problema “Frenagem de um automóvel”, que demandava conhecimentos sobre força de atrito e desaceleração de um corpo, os estudantes 1, 2 e 3 apresentaram, inicialmente, problemas conceituais sobre essas grandezas físicas, como se pode notar no breve diálogo apresentado a seguir:

Estudante 1: *coeficiente de atrito? Não lembro de nada disso.*

Estudante 2: *Tem [na internet] atrito estático e dinâmico. O que é isso?*

Estudante 1: *Agora tem a questão da desaceleração.*

Estudante 3: *A desaceleração seria igual a velocidade inicial, não?*

Estudante 1: *E agora, como calcular uma força? Massa vezes velocidade?*

Estudante 3: *Massa vezes velocidade ao quadrado?*

Frente aos obstáculos enfrentados para dar continuidade à solução do problema, os estudantes 1 e 3 emitiram opinião quanto ao grau de compreensão dos conceitos físicos estudados nos semestres letivos. Segundo o Estudante 1, “a gente não aprende nada, é só pra passar no semestre e depois não lembramos de mais nada”. Para o Estudante 3, o problema é que “[estudamos] só pra passar na prova”.

Elaboração de planos e estratégias de solução

O segundo estágio de resolução de problemas abertos foi mensurado por três itens de avaliação: 1) lançar e testar corretamente pelo menos uma hipótese; 2) apresentar bons argumentos; 3) planejar o caminho de solução. Semelhante à etapa anterior, os resultados evidenciam que os estudantes também tiveram dificuldades neste estágio de resolução dos problemas.

Em grande parte dos problemas propostos, percebemos que os estudantes buscaram a solução pelo método de tentativa e erro, sem apresentar argumentos e um planejamento para o caminho de solução; eles estavam, em grande medida, preocupados excessivamente em encontrar e testar a equação que mais se adequava aos dados do problema. Foram frequentes comentários e questionamentos como os dos estudantes 1 e 3, desde os primeiros instantes de cada atividade de resolução dos problemas.

Estudante 1: *Eu vou colocando as fórmulas aqui porque é importante!*

Estudante 3: *tem uma fórmula que relaciona força de atrito com velocidade? [...] qual é a fórmula da aceleração?*

Poucas foram as elaborações de planos e estratégias de solução que mereceram nota máxima no protocolo de avaliação. Chamou-nos atenção, em especial, a contribuição do Estudante 5 ao planejar com seu colega a solução do problema “Frenagem de um automóvel”, que, em essência, exigia que o estudante relacionasse a velocidade de um veículo com o comprimento das marcas de derrapagem na estrada em um suposto travamento das rodas. Segundo o estudante:

[...] a gente tem que achar a desaceleração do carro, por aí a gente vai ter a distância e nosso argumento contra o guarda é que se ela tivesse acima de 60 [km/h] a distância seria maior do que a que a gente encontrar no cálculo.

Como era de se esperar, a análise dos dados indicou que os estudantes também tiveram dificuldades na terceira etapa de resolução de problemas. Assim como nos estágios anteriores, o protocolo de avaliação orientou a análise do desempenho dos estudantes na resolução dos problemas abertos, especificamente no que se refere a: i) coerência do caminho de solução adotado; ii) adequação das equações físicas utilizadas; iii) utilização correta das unidades de medida; e iv) coerência entre a resposta proposta

para o problema, o caminho de solução adotado e o evento físico envolvido. Em alguns problemas, como “Cenas de filmes” e “Flutuação dos corpos”, muitos estudantes (4, 5, 6 e 7) não foram capazes de evoluir minimamente nos elementos de avaliação elencados anteriormente.

Outros estudantes (1, 2 e 3), ainda que tenham elaborado uma estratégia para solucionar o problema “Cenas de filmes”, por exemplo, fazendo uso dos conceitos de conservação do momento linear, implementaram inadequadamente a estratégia de solução. Julgaram que o impacto entre o projétil e uma pessoa poderia ser classificado como uma colisão perfeitamente elástica, e que poderiam, então, igualar a energia cinética do sistema antes e depois do impacto. Abaixo, apresentamos a solução proposta pelos estudantes:

Estudante 1: *É conservação de energia?*

Estudante 3: *Acho que é conservação de energia.*

Estudante 1: *Quem sabe:*

$$\begin{aligned}m_1 \cdot v_1^2 &= m_2 \cdot v_2^2 \\0,01 \cdot 350^2 &= 80 \cdot v_2^2 \\v_2 &= 3,9\text{m/s} = 14\text{km/h}\end{aligned}$$

Estudante 3: *Eu acho que se a bala fica na pessoa, eu acho que ela anda alguma coisa, mas se a bala passa, atravessa, eu acho que a pessoa fica no mesmo lugar. [...] a gente igualou a energia cinética da pessoa com a energia cinética da bala.*

Para a última etapa do processo de resolução dos problemas abertos, o desempenho dos estudantes foi avaliado tomando referência dois elementos do protocolo: análise da plausibilidade das respostas e da proposição de outra possibilidade de solução. Um dos poucos momentos em que um grupo de estudantes (1, 2 e 3) considerou outro caminho de solução ocorreu no problema aberto 5. Inicialmente, os estudantes se empenharam em resolver o problema usando o teorema trabalho-energia, mas optaram, após obterem um resultado que julgaram não ser adequado com o contexto do problema, adotar outro caminho de solução, fazendo uso de conceitos fundamentais da conservação do momento linear.

Mais evidências a respeito da forma como os estudantes enfrentaram os problemas abertos e as dificuldades deles no processo de resolução dos problemas serão abordadas na próxima subseção.

Entrevista

Analisamos os dados obtidos na parte da entrevista que requeria a resolução do problema aberto da aceleração da aeronave comercial, seguindo as orientações de Yin (2016), a partir das etapas de compilação, decomposição, recomposição, interpretação e conclusão, conforme discutido na seção 4.3. A compilação dos dados coletados consistiu na organização das transcrições das entrevistas de cada estudante. A seguir,

apresentamos algumas transcrições resumidas, tanto da primeira quanto da segunda parte da entrevista.

Estudante 1: *Eu acho que eu tentaria primeiro estimar o tempo que o avião demoraria para decolar. O problema é como tentar ver a velocidade do avião. Eu acho que a aceleração média é a variação da velocidade por tempo, né!? [...] Não sei é meio que tentar estimar uma distância da pista e o tempo que ele demorou. [...] Uma pista de decolagem tem quanto? [...] eu estimaria em torno de 1 km.*

Estudante 2: *Aceleração média é ... qual a fórmula mesmo?*

Estudante 3: *[...] eu tenho a massa, a distância, a velocidade inicial dele é zero, a aceleração é massa vezes velocidade. O tempo? Eu não preciso do tempo [...] ele [o avião] percorre uma distância pra poder levantar voo, que é a distância de uma pista de um avião. Não sei quanto que tem, mas é grande. Deve ser uns 30 m, não 30 m é pouco [...] Eu vou colocar uns 50 m de distância.*

Estudante 4: *Eu não sei a fórmula da aceleração, e sem a fórmula eu não sei do que eu preciso saber [...] eu não tinha nem noção de que matéria ele estava falando e de qual era a fórmula, porque no final a física sempre vai dar uma fórmula [...].*

Estudante 4: *eu sei estimar bem, comprimentos. Mas eu acho que estimar peso, estimar velocidade, foge do meu conhecimento.*

Estudante 5: *Sei lá, 45 s? [tempo de decolagem do avião]. Não, acho que é muito, porque daí a pista deveria ser gigantesca. Teria que ser muito grande pra ele andar, e ele é um baita trambolho. Triste, não sei. Eu estou tentando fazer relação com como eu faço para levantar voo o avião do GTA [jogo de vídeo game], mas nada a ver.*

Estudante 6: *É, porque é tipo, tudo aquilo é gravadinho, sabe? Estuda para uma prova. Semana passada eu tive que estudar para a prova de Física, eu estudei para a prova um dia antes da prova. Passei horas lendo fórmula e gravando fórmula.*

Estudante 7: *[distância percorrida pelo avião até decolar] uns 5 m, talvez menos.*

O Quadro 5.2 apresenta o resultado da decomposição e recomposição resultante da análise das transcrições. Para cada código que atribuímos, listamos as respectivas evidências fornecidas na entrevista.

Quadro 5.2: Dados decompostos e recompostos.

Rótulos	Evidências
Conhecimento de domínio específico	<p>Estudante 1: <i>Eu acho que a aceleração média é a variação da velocidade por tempo, né!?</i></p> <p>Estudante 3: <i>Daí eu tenho a massa, a distância, a velocidade inicial dele é zero, a aceleração é massa vezes velocidade. O tempo? Eu não preciso do tempo. [...] posso fazer pela fórmula de Torricelli. Qual é a fórmula de Torricelli? É “x” igual a “x zero” vezes aceleração?</i></p> <p>Estudante 4: <i>Eu não sei a fórmula da aceleração [...].</i></p> <p>Estudante 4: <i>... o quanto ele percorre eu acho que não depende. Depende né, porque tu vai fazer uma média dos quilômetros. Tá, é uma viagem comercial, mas ele pode ter viajado daqui a Porto Alegre, daqui a São Paulo, daqui aos Estados Unidos.</i></p>

Rótulos	Evidências
	<p>Estudante 5: [...] eu olho e tá, aceleração, mas o que é aceleração? Não sei. Potência, o que é potência? [...] energia cinética: eu não sei nada. Eu olho e eu digo: gente, eu nunca vi isso.</p> <p>Estudante 6: a fórmula da velocidade é aceleração vezes massa, não? Não me lembro, é? [...] Então é velocidade vezes tempo? Velozes massa vezes tempo? Eu "tô" inventando uma fórmula qualquer.</p> <p>Estudante 7: Não sei se a massa do avião teria alguma importância.</p>
Identificação e representação do problema	<p>Estudante 1: [...] pensar o que tínhamos que usar para utilizar as fórmulas.</p> <p>Estudante 2: [...] a gente não sabia muito bem interpretar o problema.</p> <p>Estudante 4: eu não tinha nem noção de que matéria ele estava falando e de qual era a fórmula.</p> <p>Estudante 4: ... não é MRUV, né!?</p> <p>Estudante 5: Principalmente saber com o que eu trabalho. Com que parte da matéria, o que é aquilo ali?</p> <p>Estudante 6: Aquele último do empuxo [refere-se ao problema 6], eu fiquei muito tempo pensando, o que é isso? Eu já estudei isso, eu sei que isso é alguma coisa, só que eu não consegui pensar [...] a gente lê e não dá pra saber o que tem pra fazer.</p> <p>Estudante 7: [...] eu não consegui botar aqueles valores, aquelas estimativas, direitinho nas fórmulas. [...] relacionar aquele problema com tudo que eu tinha visto. [...] descobrir o que que tu vai usar pra resolver aquilo.</p>
Estimativas	<p>Estudante 1: eu estimaria em torno de 1 km, acho que 1,2km [distância percorrida pelo avião até decolar]. [...] Para o tempo eu tinha pensado em 15 s [...] Acho que é uma boa estimativa: 360 km/h [velocidade de decolagem].</p> <p>Estudante 2: eu tenho que estimar o tempo da decolagem!? Seria uns 8s? Para estimar eu não sou muito bom [...] Uma distância de ... ele vai percorrer 1 m em 1 s. [...] vamos supor, 30 m [que o avião percorre até a decolagem]. Seria o tempo que ele reage pra sair do chão antes de voar. Vou colocar uma estimativa, de novo, vou colocar uns 8s.</p> <p>Estudante 3: estimaria uma massa para o avião. Se um carro a gente colocava 1,2 toneladas, um avião deve ser uns 6 carros, 5, não. É, deve ser umas 7 toneladas. [...] Eu vou colocar uns 50 m de distância [distância percorrida pelo avião até a decolagem].</p> <p>Estudante 4: eu sei estimar bem, comprimentos. Mas eu acho que estimar peso, estimar velocidade, foge do meu conhecimento.</p> <p>Estudante 4: ... um avião vai a bem mais, 300km/h, mais até.</p> <p>Estudante 6: O avião tá subindo, ele tá com velocidade de 200, 300. [...] Vamos colocar 20 toneladas [para a massa do avião].</p> <p>Estudante 7: eu não tinha muita noção da massa do carro.</p> <p>Estudante 7: acho que uns 200 quilos, ou mais [estimativa da massa de um avião]. [distância percorrida pelo avião até decolar] uns 5 metros.</p>
Elaboração de planos e estratégias de solução	<p>Estudante 1: Eu acho que eu tentaria primeiro estimar o tempo que o avião demoraria para decolar. [...] Daí eu iria tentar descobrir, tentar ver como é que a ..., a velocidade inicial é zero. Tentar descobrir a velocidade do avião na hora da decolagem. Não sei é meio que tentar estimar uma distância da pista e o tempo que ele demorou. Descobrir uma velocidade média, e com essa velocidade tu usar na fórmula da aceleração. A velocidade final a gente estima.</p> <p>Estudante 4: Se um carro vai a cento e poucos km/h, um avião vai a bem mais. 300 km/h ..., mais até.</p>

Rótulos	Evidências
	<p>Estudante 5: 45 s [tempo para a decolagem do avião]. <i>Não, acho que é muito, porque daí a pista deveria ser gigantesca. Teria que ser muito grande pra ele andar [...] não sei.... Estou tentando fazer relação com como eu faço para levantar voo o avião do GTA, mas nada a ver [...] Pensei em filmes e videogames, mas eu nunca estive em um aeroporto.</i></p> <p>Estudante 6: Bom, se um carro é uma tonelada e 200, [...] um avião deve ser, tipo, 10 vezes isso. Talvez até mais: 20 carros, 15 carros. Vamos colocar 20 toneladas.</p>
<p>Avaliação da plausibilidade das respostas</p>	<p>Estudante 2: <i>Dá 13km/h [velocidade do avião na decolagem], é pouco.</i></p> <p>Estudante 2: <i>500 [valor da aceleração média do avião]. Isso é muito alto.</i></p> <p>Pesquisador: <i>Tu achas que esse valor também não condiz com a realidade?</i></p> <p>Estudante 2: <i>Sim.</i></p> <p>Pesquisador: <i>Por quê?</i></p> <p>Estudante 2: <i>Sei lá, porque 500 é um valor muito alto.</i></p> <p>Estudante 3: <i>... e com a fórmula de Torricelli eu usei essas duas informações que eu tinha e substituí pela massa vezes velocidade e aí fiquei com as duas velocidades e cheguei na velocidade de 80.000 m/s.</i></p> <p>Estudante 4: <i>Eu só comecei a fazer isso [avaliar as respostas] depois que começamos.</i></p> <p>Estudante 5: <i>Sim, porque daí quando tu termina de resolver o problema tu pensa, né, de acordo com a tua vida, bah, será que dá pra ser isso, ou não dá pra ser? [...] Se eu soubesse a aceleração de um carro, poderia tentar fazer algum tipo de relação na minha cabeça, pra ver se a resposta final seria cabível, sabe?</i></p>
<p>Sistema de Unidades e Medidas</p>	<p>Estudante 1: <i>Como é que é a conversão de aceleração? Não aumentaria 24km/h em 1 h. Ou é 24km/h por segundo? Acho que a aceleração média seria por isso, uns 6 m/s²; 24 km/h a cada segundo.</i></p> <p>Estudante 2: <i>a gente teve dificuldades com as unidades.</i></p> <p>Estudante 2: <i>É km/h a velocidade de um avião? E agora? Deve ser né!? [...] Esse valor aqui está em m/s, teria que passar para km/h. Tem que multiplicar por 3,6 ou dividir?</i></p> <p>Estudante 3: <i>[em relação às dificuldades em problemas abertos] a unidade, que a gente sempre ficava em dúvida de qual unidade colocar. [...] A velocidade dele [do avião] seria em m/s?</i></p> <p>Estudante 6: <i>... dá 15.</i></p> <p>Pesquisador: <i>15 o que?</i></p> <p>Estudante 6: <i>km/h? Não... Não me lembro das unidades.</i></p> <p>Pesquisador: <i>Tens dificuldades com as unidades?</i></p> <p>Estudante 6: <i>Tenho.</i></p>
<p>Resolução de problemas é aplicação de fórmulas</p>	<p>Estudante 2: <i>Aceleração média é... qual a fórmula mesmo?</i></p> <p>Estudante 3: <i>[em relação aos recursos cognitivos que julgam mais importantes] Habilidade de que a gente aprendesse a fórmula.</i></p> <p>Estudante 4: <i>Eu não sei a fórmula da aceleração, e sem a fórmula eu não sei do que eu preciso saber.</i></p> <p>Estudante 6: <i>É, porque é tipo, tudo aquilo [conceitos estudados em sala de aula] é gravadinho, sabe? Estuda para uma prova. Semana passada eu tive que estudar para a prova de Física, eu estudei para a prova um dia antes da prova. Passei horas lendo fórmula e gravando fórmula. Passou uma semana, a gente já vai esquecendo e daqui um pouquinho já passa uns meses e vem outra matéria e a gente já esqueceu totalmente das fórmulas.</i></p>

Rótulos	Evidências
	Estudante 6: [em relação a maior dificuldade] <i>Lembrar as fórmulas.</i>
Resolução de problemas abertos é mais complexo que problemas fechados	<p>Estudante 1: <i>a diferença é que [nos problemas abertos] tu pensa mais; não tem tantos dados; é preciso saber mais do mundo, saber estimar as coisas, não podes dizer que um carro tem 200 m, por exemplo.</i></p> <p>Estudante 3: <i>A diferença de que tu tem que ir atrás do problema, tu tem que pensar o que está acontecendo ali, não é uma coisa que tipo, já é dada o que tu tem que fazer, que tu tem um valor 'estimulado', aí [nos problemas abertos] tu tem que pensar mais, tu tem que fazer todo um planeamento para que dê certo.</i></p> <p>Estudante 4: <i>Eu acho que a pior é quando tu diz pro professor: eu não sei. E daí ele te diz: é só aplicar a fórmula. Eu percebi que isso é muito ruim agora, com os teus problemas abertos, porque só aplicar a fórmula, tá, e daí? E o problema que eu não tenho todos os dados, que eu tenho que ficar estimando e daí eu vou ficar jogando com uma coisa que eu nem sei, sabe?</i></p> <p>Estudante 6: <i>É porque eles [problemas fechados] já dão os dados. É tantos quilos, é tanto de energia cinética, e esses problemas [abertos] não, a gente tem que ficar pensando, estimando, e ajuda muito a exercitar o pensamento.</i></p>

A quarta etapa de análise de dados qualitativos, a de *interpretação*, utiliza os resultados da decomposição e recomposição dos dados, criando uma nova narrativa do estudo, que pode ser acompanhada de tabelas e gráficos (YIN, 2016).

Conhecimento de domínio específico

A partir da decomposição e recomposição dos dados obtidos na entrevista, percebemos que, de maneira geral, os alunos apresentaram deficiência em conhecimento de domínio específico (conhecimento conceitual), o que dificulta, em grande medida, a resolução tanto de problemas abertos quanto de problemas fechados (SHIN, JONASSEN & MCGEE, 2003). O Quadro 5.3 apresenta uma reorganização dos dados obtidos em relação ao conhecimento de domínio específico, evidenciando o alto grau de deficiência desse recurso cognitivo.

Quadro 5.3: Interpretação dos dados obtidos na entrevista de resolução de problemas abertos, em relação ao conhecimento de domínio específico.

	Contribuições positivas	Evidências das dificuldades dos estudantes
Conhecimento de domínio específico	Estudante 1: <i>Eu acho que a aceleração média é a variação da velocidade por tempo, né!?</i>	<p>Estudante 2: <i>... a velocidade final seria zero, ou a velocidade inicial?</i></p> <p>Estudante 3: <i>Daí eu tenho a massa, a distância, a velocidade inicial dele é zero, a aceleração é massa vezes velocidade. O tempo? Eu não preciso do tempo. [...] posso fazer pela fórmula de Torricelli.</i></p>

	<p>Estudante 2: <i>Aceleração média é [...] delta v, delta t.</i></p>	<p><i>Qual é a fórmula de Torricelli? É “x” igual a “x zero” vezes aceleração?</i></p> <p>Estudante 4: <i>Eu não sei a fórmula da aceleração [...].</i></p> <p>Estudante 4: <i>... o quanto ele percorre eu acho que não depende. Depende né, porque tu vai fazer uma média dos quilômetros. Tá, é uma viagem comercial, mas ele pode ter viajado daqui a Porto Alegre, daqui a São Paulo, daqui aos Estados Unidos?</i></p> <p>Estudante 5: <i>[...] eu olho e tá, aceleração, mas o que é aceleração? Não sei. Potência, o que é potência? [...] Aquele negócio da escada mesmo, energia cinética: eu não sei nada. Eu olho e eu digo: gente, eu nunca vi isso.</i></p> <p>Estudante 6: <i>a fórmula da velocidade é aceleração vezes massa, não? Não me lembro, é? [...] Na última aula, teve aquele negócio de joule, eu não sei o que é um joule.</i></p> <p>Estudante 7: <i>Não sei se a massa do avião teria alguma importância.</i></p>
--	---	--

O Estudante 1 foi o único capaz de expressar relações conceituais adequadas durante toda resolução do problema aberto proposto na entrevista, apresentando, ao final, um resultado compatível com valores do mundo real. Já o Estudante 2, embora tenha expresso verbalmente o conceito de aceleração de forma adequada, considerou, em sua primeira contribuição por escrito na resolução com lápis e papel, uma expressão incorreta para a aceleração média, como podemos perceber na Figura 5.5. Os demais estudantes, no entanto, não foram capazes de utilizar relações conceituais que os orientassem a um caminho de solução e uma resposta final adequada.

O conhecimento de domínio específico envolve, dentre muitos aspectos, o conhecimento relacionado ao sistema de unidades e medidas adequado a cada grandeza física. Quando questionados sobre quais as principais dificuldades que tiveram no enfrentamento dos problemas abertos propostos em sala de aula, alguns estudantes comentaram que trabalhar com conversão de unidades é um obstáculo conceitual para muitos deles. A avaliação da decomposição e recomposição dos dados da entrevista indica mais evidências desse tipo de dificuldade, como se pode observar no Quadro 5.4.

$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ $v_0 = 30 \text{ km/h}$ $v = 0$ (estimativa) $v^2 = v_0^2 +$
 $t = 100$ (estimativa) 8 seg.

Primeiramente, eu procurei estimar a velocidade inicial e a velocidade final para descobrir o "Δv". Logo após, eu tentei descobrir o tempo em que eu fiz a decolagem; para então aplicar na fórmula da aceleração média.

$a_m = \frac{30}{8}$ $v = \frac{d}{T}$ $v = \frac{30}{0,08}$ $d = 30 \text{ m}$ (estimativa)

$a_m = 3,75 \text{ m/s}^2$ $v = (3,75 \cdot 4) \cdot 8$

$a_m = 30$ $v = \frac{d}{T}$ 13 km/h $1 \text{ m} - 2 \text{ s}$

$(0,375)^2 \rightarrow 0,14$ $(0,57)^2$ $X - 20 \text{ s}$

$a_m = 30$ $30 = \frac{30}{T}$ $1 \text{ m} - 1 \text{ s}$

$a_m = 2184 \text{ m/s}^2$ $30 = \frac{30}{T}$ $30 \text{ m} - X$

$30 T = 30$ $T = 0,375$ $T = 0,57$

Figura 5.5: Contribuições por escrito do Estudante 2 para o problema aberto proposto na entrevista.

Quadro 5.4: Interpretação dos dados relacionados ao conhecimento de sistemas de unidades e medidas.

	Contribuições positivas	Contribuições negativas
Sistema de Unidades e Medidas	<p>Estudante 1: Como é que é a conversão de aceleração? Não aumentaria 24km/h em 1 h. Ou é 24km/h por segundo? Acho que a aceleração média seria por isso, uns 6 m/s²; 24 km/h a cada segundo.</p>	<p>Estudante 2: É km/h a velocidade de um avião? E agora? Deve ser né!? [...] Esse valor aqui está em m/s, teria que passar para km/h. Tem que multiplicar por 3,6 ou dividir?</p> <p>Estudante 3: [em relação às dificuldades em problemas abertos] a unidade, que a gente sempre ficava em dúvida de qual unidade colocar. [...] A velocidade dele [do avião] seria em m/s?</p> <p>Estudante 6: ... dá 15.</p> <p>Pesquisador: 15 o que?</p> <p>Estudante 6: km/h? Não... Não me lembro das unidades.</p> <p>Pesquisador: Tens dificuldades com as unidades?</p> <p>Estudante 6: Tenho.</p>

Novamente, apenas o Estudante 1 apresentou relações cientificamente corretas para o sistema de unidades envolvido no problema. No entanto, é importante destacar que essa análise está sendo feita apenas para o problema proposto na entrevista, e não

necessariamente se estende a todos os problemas abertos propostos nas atividades didáticas dos encontros de sala de aula.

Identificação e representação do problema

Os dados obtidos a partir da entrevista, depois de decompostos e recompostos, evidenciam que os estudantes enfrentaram grandes dificuldades já na primeira etapa do processo de solução. Quando solicitados a descrever brevemente a experiência que tiveram com o estudo, ou quando questionados sobre as principais dificuldades que enfrentaram, muitos estudantes afirmaram que identificar e representar o problema foi um dos maiores obstáculos com que se depararam, como podemos perceber nos seguintes relatos.

Estudante 2: [...] *a gente não sabia muito bem interpretar o problema.*

Estudante 4: *eu não tinha nem noção de que matéria ele estava falando e de qual era a fórmula.*

Estudante 5: *Principalmente saber com o que eu trabalho. Com que parte da matéria, o que é aquilo ali? [...] Aquele último do empuxo [refere-se ao problema 6], eu fiquei muito tempo pensando, o que é isso? Eu já estudei isso, eu sei que isso é alguma coisa, só que eu não consegui pensar.*

Estudante 6: *a gente lê e não dá pra saber o que tem pra fazer.*

Estudante 7: [...] *eu não consegui botar aqueles valores, aquelas estimativas, direitinho nas fórmulas. [...] relacionar aquele problema com tudo que eu tinha visto.*

Estudante 7: [...] *descobrir o que que tu vai usar pra resolver aquilo.*

Estimativas

Um dos recursos cognitivos fundamentais para resolução de um problema aberto, pertencente ainda à primeira etapa de solução, é a capacidade de propor boas estimativas para grandezas físicas (ERCEG, AVIANI & MEŠIĆ, 2013; NISS, 2012; FORTUS, 2009). Analisando os dados resultantes da entrevista percebemos que os estudantes apresentaram, mesmo após as seis atividades de resolução de problemas abertos, muitas dificuldades em estimar grandezas físicas. O problema aberto da decolagem de um avião comercial evidenciou os problemas enfrentados para estimar as grandezas comprimento, massa e tempo, como percebe-se no Quadro 5.5.

Dado que os estudantes enfrentam dificuldades em estimar algumas grandezas de base do Sistema Internacional de Unidades e Medidas, é de se esperar que também tenham problemas ainda maiores para estimar valores coerentes com o mundo real para grandezas derivadas, como aceleração, força, energia, momento linear, dentre outras.

Quadro 5.5: Estimativas apresentadas em ação de resolução do problema aberto proposta na entrevista.

	Estimativas adequadas	Estimativas incoerentes com valores do mundo real
Estimativas	<p>Estudante 1: <i>eu estimaria em torno de 1 km, acho que 1,2km [distância percorrida pelo avião até decolar]. [...] Para o tempo eu tinha pensado em 15 s [...] Acho que é uma boa estimativa: 360 km/h [velocidade de decolagem].</i></p> <p>Estudante 4: <i>um avião vai a bem mais, 300km/h, mais até.</i></p> <p>Estudante 6: <i>O avião tá subindo, ele tá com velocidade de 200, 300.</i></p> <p>Estudante 6: <i>Vamos colocar 20 toneladas [para a massa do avião].</i></p>	<p>Estudante 2: <i>eu tenho que estimar o tempo da decolagem!? Seria uns 8s? Para estimar eu não sou muito bom [...] Uma distância de ... ele vai percorrer 1 m em 1 s.</i></p> <p>Estudante 2: <i>vamos supor, 30 m [que o avião percorre até a decolagem].</i></p> <p>Estudante 2: <i>Seria o tempo que ele reage pra sair do chão antes de voar. Vou colocar uma estimativa, de novo, vou colocar uns 8s.</i></p> <p>Estudante 3: <i>estimaria uma massa para o avião. Se um carro a gente colocava 1,2 toneladas, um avião deve ser uns 6 carros, 5, não. É, deve ser umas 7 toneladas, 8.</i></p> <p>Estudante 3: <i>Eu vou colocar uns 50 m de distância [distância percorrida pelo avião até a decolagem].</i></p> <p>Estudante 7: <i>eu não tinha muita noção da massa do carro.</i></p> <p>Estudante 7: <i>acho que uns 200 quilos, ou mais [estimativa da massa de um avião].</i></p> <p>Estudante 7: <i>5 m [distância percorrida pelo avião até decolar].</i></p>

Chama bastante atenção algumas estimativas propostas pelo Estudante 3. No primeiro encontro, quando solicitado a estimar a massa de um veículo, o estudante sugere que 80 kg seria um valor razoável, argumentando que: “*Se uma pessoa levanta um carro, e uma pessoa tem 80 kg, então o carro tem 80 kg*”. Já na entrevista, no último encontro, o estudante buscou estimar a distância percorrida por um avião comercial no processo de decolagem, atribuindo o valor de 50 m. Parece-nos bem claro que esse estudante não evoluiu na habilidade de estimar grandezas físicas com valores coerentes com a realidade.

Além do Estudante 3, os estudantes 2 e 7 também não foram capazes de estimar, em bom nível, distância percorrida, massa e tempo. O Estudante 2, por exemplo, estimou em 30 m a distância percorrida por um avião comercial para sua decolagem. Já o Estudante 7, para a massa e a distância percorrida da aeronave, estimou em 200 kg e 5 m, respectivamente. Neste último caso, fica evidente o total desconhecimento da dimensão das unidades massa e comprimento, ou de uma enorme dificuldade em relacionar conceitos e realidade. Ressaltamos, ainda, que os estudantes 4 e 5 praticamente não indicaram estimativas às grandezas físicas presentes no problema, sendo um dos fatores que impediu o avanço em sua solução.

Elaboração de planos e estratégias de solução

Quanto à segunda etapa da resolução de problemas abertos, elaboração de planos e estratégias para uma solução, identificamos evidências de estratégias adequadas apenas na manifestação do Estudante 1, que na entrevista, afirmou:

Eu acho que eu tentaria primeiro estimar o tempo que o avião demoraria para decolar. [...] Daí eu iria tentar descobrir, tentar ver como é que a ..., a velocidade inicial é zero. Tentar descobrir a velocidade do avião na hora da decolagem. Não sei é meio que tentar estimar uma distância da pista e o tempo que ele demorou. [...] A velocidade final a gente estima.

As estratégias pensadas pelos outros estudantes não foram suficientes a ponto de gerar um caminho adequado para que chegassem a um resultado final. O Estudante 5, por exemplo, buscou uma estratégia de solução relacionando o fenômeno descrito no problema com experiências cotidianas, como jogos de vídeo game e filmes, mas, no entanto, não foram capazes de progredir em sua própria proposta de solução.

Resolução de problemas como aplicação de fórmulas

Outra interpretação que pode ser feita a partir da decomposição e recomposição dos dados coletados na entrevista é que os estudantes entendem, em grande medida, que resolução de problemas é um processo de aplicação de fórmulas. Encontrar a equação que melhor se encaixa nos dados do problema é considerado como o elemento essencial para se chegar a um resultado final. Vejamos as evidências destacadas a seguir.

Estudante 2: *Aceleração média é, qual a fórmula mesmo?*

Estudante 3: [em relação às habilidades que julgam mais importantes] *habilidade de que a gente aprendesse a fórmula.*

Estudante 4: *Eu não sei a fórmula da aceleração, e sem a fórmula eu não sei do que eu preciso saber.*

Estudante 6: *É, porque é tipo, tudo aquilo [conceitos estudados em sala de aula] é gravadinho, sabe? Estuda para uma prova. Semana passada eu tive que estudar para a prova de Física, eu estudei para a prova um dia antes da prova. Passei horas lendo fórmula e gravando fórmula. Passou uma semana, a gente já vai esquecendo e daqui um pouquinho já passa uns meses e vem outra matéria e a gente já esqueceu totalmente das fórmulas.*

Estudante 6: [em relação a maior dificuldade] *Lembrar as fórmulas.*

Pelo que sugere alguns comentários dos estudantes na entrevista, eles passaram a entender os problemas abertos como um tipo de problema mais complexo e com maior capacidade de estimular o aprendizado de conhecimentos conceituais do que os problemas fechados. Para o Estudante 1, nos problemas abertos é preciso pensar mais, utilizar as experiências de vida cotidiana; o Estudante 3, por sua vez, entende que os problemas abertos exigem maior planejamento das ações.

5.5 Comentários finais e conclusões do estudo

Passamos agora à última etapa da análise dos dados qualitativos, a etapa de *conclusão* do estudo empírico. Tendo em vista as diversas evidências coletadas a respeito dos obstáculos enfrentados pelos estudantes em identificar e representar o problema, propor estimativas, elaborar estratégias de solução e do baixo grau de conhecimento de domínio específico, sentimos a necessidade de que, para preparar os estudantes de Ensino Médio ao enfrentamento de problemas abertos em Física, é necessário, inicialmente, melhor orientação de como trabalhar com representações e promover a captação de significados adequados por parte dos estudantes. Para isso, também é preciso fazer com que os estudantes disponham de razoável conhecimento conceitual quando forem resolver problemas abertos, que sejam capazes de elaborar e implementar suas estratégias e que avaliem adequadamente o processo de resolução.

Conforme descrito no início deste capítulo, os objetivos deste primeiro estudo eram: i) familiarizar o pesquisador com atividades didáticas de resolução de problemas abertos em Física em uma turma de ensino médio; e ii) aprofundar os conhecimentos relacionados às dificuldades dos alunos, às atitudes e crenças no enfrentamento de problemas abertos, além de confrontar esses resultados com a literatura.

Ao cumprir o primeiro objetivo do estudo, vivenciar uma experiência didática com implementação de atividades de resolução de problemas abertos, pudemos reunir elementos que nos permitiram também alcançar o segundo objetivo. Identificamos, a partir da análise dos dados desse estudo, que os estudantes apresentaram dificuldades desde a primeira etapa, quando não foram capazes de representar adequadamente os problemas, especialmente devido às dificuldades enfrentadas para representar o problema e estimar as grandezas físicas necessárias. Outro dos principais obstáculos enfrentados pelos estudantes para obter um bom desempenho na solução de problemas abertos foi o baixo conhecimento de domínio específico, que inevitavelmente afeta a capacidade de elaborar e implementar estratégias de solução, e obter uma resposta razoável com o contexto do problema. Esses resultados são convergentes com a literatura investigada, na qual encontramos, a título de exemplificação, observações feitas por Niss (2012), que destaca as seguintes dificuldades dos estudantes em enfrentamento de problemas abertos: i) analisar a situação inicial do problema, identificando os conceitos mais relevantes; ii) analisar qualitativamente o problema, identificando as principais relações entre os conceitos físicos; e iii) elaborar uma representação do problema.

Outro resultado importante do estudo, também convergente com a literatura, refere-se às crenças epistemológicas dos alunos, entendidas como a maneira pela qual eles entendem Ciência e resolução de problemas. Para Oh e Jonassen (2007), essas crenças se constituem em um dos fatores que dificultam a resolução de problemas abertos. De acordo com Ogilvie (2009), um dos principais desafios é modificar a crença

dos alunos para que eles possam desenvolver habilidades e abordagens necessárias para resolver problemas abertos. Para ele, os estudantes fortalecerão suas habilidades de resolução de problemas, fornecendo-lhes mais condições ao enfrentamento de problemas abertos em Física, quando compreenderem que resolução de problemas é mais do que aplicar uma lista cada vez maior de procedimentos às tarefas. Em nossa experiência constatamos que, em grande medida, predomina a busca da equação física que melhor se encaixe aos dados fornecidos no problema, sem que haja, inicialmente, uma discussão qualitativa do fenômeno descrito, se configurando plenamente em um processo de tentativa e erro.

Por fim, salientamos que, embora os dados não evidenciem evolução significativa dos estudantes no processo de resolução dos problemas abertos, não significa que o estudo não contribuiu, em algum nível, para ganho de conhecimento, tanto por parte dos estudantes quanto do pesquisador. As dificuldades manifestadas pelos alunos foram recorrentes ao longo do módulo didático, contudo temos que levar em consideração que os problemas propostos estavam organizados em grau crescente de dificuldade. Assim, mesmo que, por exemplo, as dificuldades na etapa de definição e representação de um problema tenham persistido, compreendemos que os estudantes progrediram, minimamente que seja, neste estágio e em alguma habilidade de resolução de problemas.

Os argumentos e a construção de uma Articulação Teórica de Referência para a resolução de problemas abertos serão apresentados no próximo capítulo.

CAPÍTULO 6. ESTUDO TEÓRICO

Neste capítulo, subdividido em quatro seções, apresentaremos argumentos sobre o processo de resolução de problemas abertos sob uma perspectiva construtivista; uma discussão a respeito do entendimento da literatura sobre resolução de problemas abertos à luz da modelagem científica; construiremos uma articulação teórica entre os conhecimentos do processo de resolução de problemas abertos e os fundamentos teóricos da modelagem didático-científica; e, por fim, discutiremos sobre possibilidades de implementação de ATR na construção de problemas e aplicação de abordagens didáticas.

6.1 Resolução de problemas abertos sob uma perspectiva construtivista

Identificamos na literatura que os modelos de resolução de problemas fechados estão enraizados nas teorias de processamento de informações, enquanto um modelo a ser desenvolvido para resolução de problemas abertos precisará, necessariamente, de pressupostos e métodos construtivistas e da cognição situada (JONASSEN, 1997). A cognição situada está relacionada ao impacto do contexto e da cultura sobre a aprendizagem e a cognição, mas distante de uma noção simplista relacionada ao termo cognição cotidiana (HENNING, 2004), e intimamente associada às abordagens socioculturais. Em outras palavras, a cognição situada considera que organismo e ambiente formam uma unidade inseparável. Enquanto nas teorias de processamento de informações é suposto que resultados de aprendizagem podem ser transferíveis para outros domínios de conhecimento, no construtivismo e na cognição situada entende-se que a resolução de problemas depende do domínio e do contexto, e que cada contexto e domínio requer diferentes habilidades.

As concepções tradicionais de ensino – que, em grande medida, estão alinhadas com o objetivismo – consideram o conhecimento como um objeto, algo que pode ser transmitido do professor para o aluno (JONASSEN, 1996). Nessa abordagem, o conhecimento pode ser adquirido por um estudante, bastando, para isso, que haja instrução de um professor ou algum meio para adquirir tal conhecimento. Do ponto de vista dos construtivistas, no entanto, o conhecimento é uma construção humana de significados que fazem sentido na perspectiva pessoal de cada estudante. Esse conhecimento é contextual, pois resulta do entendimento construído a partir das interações com o meio.

A aprendizagem, do ponto de vista do objetivismo, ocorre a partir da transmissão e memorização do conhecimento, com atividades fechadas, bem estruturadas e abstratas. Já do ponto de vista do construtivismo, a aprendizagem ocorre a partir da construção do conhecimento, com atividades de ensino relacionadas à experiência, abertas, que utilizam experiências autênticas, com resolução de problemas (ibid.). De

forma análoga, a instrução do ponto de vista do objetivismo busca, por meio de aulas expositivas, tutorias e demonstrações, simplificar o conhecimento, ensinando regras abstratas e aplicação de símbolos. Pela abordagem construtivista, a instrução tende a refletir a complexidade natural, requerendo o ensino múltiplas perspectivas (ibid.), se valendo de modelagem e aprendizagem colaborativa.

Jonassen (1999) argumenta que a instrução deve consistir em experiências que facilitem a construção do conhecimento. Na idealização de um ambiente de aprendizagem construtivista, Jonassen (ibid.) destaca o papel fundamental dos problemas propostos, dos casos e dos projetos trabalhados nas atividades de ensino. Tratando especificamente dos problemas, tema central desta tese, ele considera que devem impulsionar a aprendizagem, serem interessantes, relevantes e envolventes, para que os alunos sintam a necessidade de resolvê-los. Enfim, atividades de ensino propostas em um ambiente de aprendizagem construtivista se tornam promissoras quando envolvem resolução de problemas abertos.

Para Jonassen, esses problemas precisam incluir três componentes integrados: a) o contexto do problema; b) a representação ou simulação do problema; e c) o espaço de manipulação do problema. Descrever o contexto em que o problema ocorre é uma parte essencial (JONASSEN, ibid.), na qual são relatados o ambiente, os recursos, as pessoas envolvidas e interessadas na resolução de tal problema. A representação do problema – segundo componente – deve ser feita de tal forma que o estudante o encare como um desafio significativo, um problema a ser resolvido. Os dois primeiros componentes se tornam uma história sobre um conjunto de eventos que conduzem à problemática. Por fim, o terceiro componente se refere aos objetos, sinais e ferramentas necessárias para que o estudante manipule parâmetros, tome decisões e construa um produto.

Quase todas as concepções de aprendizagem construtivista recomendam envolver estudantes em atividades de resolução de problemas abertos, autênticos (ibid.). O caráter autêntico é atribuído ao envolvimento dos alunos em atividades que apresentem desafios cognitivos do tipo encontrado no mundo cotidiano, que repliquem as estruturas específicas de um contexto.

Jonassen (ibid.) entende que um indivíduo é capaz de enfrentar um problema autêntico a partir dos conhecimentos construídos em experiências anteriores, e esse aspecto que diferencia, em alto grau, novatos de especialistas (ou *experts*). A partir desse argumento, um ambiente de abordagem construtivista forneceria experiências aos estudantes novatos para que sirvam de referência para a solução de futuros problemas que possam enfrentar nos contextos acadêmico, profissional e cotidiano. Em suas palavras:

As lições que entendemos melhor são aquelas em que fomos envolvidos e investimos maior esforço. Casos relacionados podem armazenar (ou suplantam) memória, fornecendo representações de experiências que os

alunos não tiveram. Eles não podem substituir o envolvimento dos alunos, mas podem fornecer referentes para comparação. [...] Ao apresentar casos relacionados em ambientes de aprendizagem, você está fornecendo aos alunos um conjunto de experiências para comparar com o problema atual (JONASSEN, 1999, p. 223 – 224).

Nessa mesma linha, outros autores também entendem que o processo de resolução de problemas deve seguir abordagens construtivistas (GE & LAND, 2003; 2004; STEWART et al., 2007; KAPUR, 2008), favorecendo que os alunos integrem teoria e prática, realizem pesquisas, organizem o pensamento e trabalhem colaborativamente em pequenos grupos.

Em síntese, a aprendizagem construtivista enfatiza a criação de significado pessoal, com o sujeito buscando intencionalmente relacionar novas ideias com experiências e construções de conhecimento prévias. Uma das maneiras mais viáveis de criar um ambiente propício para tal é a partir da implementação de problemas abertos. No entanto, como salienta Gil Pèrez (1993), devemos estar alertas à tentação de ver nas abordagens construtivistas a solução definitiva para os problemas no ensino de Física e Ciências. É preciso romper com a ideia ingênua de que ensino é fácil, e que ao seguir caminhos pré-estabelecidos conseguiremos ‘acabar com o ensino tradicional’. Além disso, implícito ao ensino tradicional está um modelo coerente de ensino por transmissão e recepção de informações já estabelecidas, e renovar o ensino não será questão de meros retoques, mas sim, uma mudança de paradigma.

Sobre conhecimentos específicos e gerais

Paralelamente à consideração de resolução de problemas em abordagens construtivistas, Jonassen (1997) também assume que atividades que envolvem esses problemas são mais complexas que a soma de suas partes: envolvem uma variedade de recursos cognitivos, tais como informação proposicional, conceitos, regras e princípios (*conhecimento de domínio*); redes conceituais, mapeamento semântico, modelos mentais (*conhecimentos estruturais*), construção e aplicação de argumentos, analogias e inferências (*ampliative skills*), e definição de metas, alocação de recursos cognitivos e avaliação (*conhecimento metacognitivo*).

Shin, Jonassen e McGee (2003) consideram que conhecimento do domínio específico bem desenvolvido é um requisito primário para a atividade de resolução de problemas, tanto do tipo fechado quanto aberto. Quando os estudantes não possuem conhecimento de domínio suficiente, utilizam estratégias mais fracas no enfrentamento dos problemas abertos. Em grande medida, a diferença entre especialistas e novatos em situação de resolução de problemas reside na maneira em que seus conhecimentos são representados, estruturados e organizados (BULU & PEDERSEN, 2010; ERCEG, AVIANI & MESIC, 2013). Enquanto o conhecimento dos especialistas está bem organizado em termos de conceitos e experiências, os novatos focalizam em aspectos superficiais do problema, utilizando estratégias mais fracas em busca de uma solução.

Em uma pesquisa que tinha como objetivo investigar as habilidades necessárias para resolução de problemas de Astronomia, dos tipos fechados e abertos, em um ambiente de aprendizagem virtual, Shin, Jonassen e McGee (ibid.) confirmaram a relevância do conhecimento de domínio bem estruturado, do desenvolvimento de habilidades de justificação e do desenvolvimento e regulação da cognição (*conhecimentos metacognitivos*). Para eles, “os alunos devem contrastar soluções alternativas e defender a eficácia da solução escolhida, de modo que desenvolver argumentos é uma habilidade essencial” (ibid., p. 28, tradução nossa).

Os autores consideram que na resolução de problemas abertos o conhecimento de domínio dos estudantes está organizado em torno de experiências, enquanto que nos problemas fechados o conhecimento está estruturado em princípios fundamentais. Jonassen (1997) argumenta que o primeiro estágio na solução de um problema aberto é examinar o contexto no qual ele surgiu e determinar sua natureza. Para tanto, os estudantes devem analisar as restrições impostas pelo contexto e os tipos de problema que podem ser resolvidos no mesmo domínio. Para ele, tão importante quanto dispor de certo grau de conhecimento de domínio para realizar a análise contextual do problema é a experiência anterior em resolução de problemas abertos. “Sem conhecimento de domínio adequado, mesmo as habilidades anteriores de resolução de problemas não podem ser transferidas para um domínio porque os alunos não transferem construções de outros domínios para este” (ibid., p. 83). Em síntese, o conhecimento de domínio e a capacidade de resolução de problemas se desenvolvem a partir da experiência na resolução de problemas (ibid.).

Bulu e Pedersen (2010) defendem que, para que estudantes tenham êxito em resolução de problemas abertos, precisam dispor de um nível mínimo de *conhecimentos específicos*, referentes ao conhecimento de conteúdo, consistindo em componentes cognitivos, como teoremas, regras e princípios, e de *conhecimentos estruturais*, referentes ao conhecimento de como os conceitos estão inter-relacionados dentro de um mesmo domínio (GE & LAND, 2003).

Já Gomes, Borges e Justi (2008) apresentam uma discussão a respeito dos tipos de conhecimentos envolvidos em atividades investigativas, entendidas pelos autores como atividades de resolução de problemas abertos. Inicialmente, os autores referenciam um trabalho de Gott e Duggan (1995) que argumenta a favor de dois tipos de conhecimentos envolvidos em atividades investigativas: *conhecimento conceitual*, que consiste no conhecimento das ideias da Ciência, baseado em fatos, leis, princípios e teorias, e também pode ser chamado de conhecimento *declarativo*; e *conhecimento procedimental*, que se refere aos conhecimentos necessários para fazer Ciência, como procedimentos e estratégias necessárias para obtenção de informações que levem à solução de um problema.

A divisão entre os dois tipos de conhecimento está relacionada à perspectiva de que os conhecimentos conceituais são específicos de um domínio teórico, enquanto que

os conhecimentos procedimentais são independentes dos domínios. No entanto, Gomes, Borges e Justi (2008) consideram ser possível haver conhecimentos conceituais gerais e específicos, bem como ser possível haver conhecimentos procedimentais ou estratégias gerais e específicas. Tendo isso em vista, passam a adotar outra classificação para os tipos de conhecimentos, que distingue **conhecimento específico** e **conhecimento geral**. O conhecimento específico compreende o conhecimento *declarativo*, *procedimental* e *condicional* de um determinado domínio conceitual particular. O conhecimento *declarativo* se refere às informações factuais, enquanto que o conhecimento procedimental é “a articulação de conhecimentos conceituais em unidades funcionais que podem ou não incorporar estratégias específicas. [...] Corresponde ao conhecimento em ação, o saber como agir ou fazer alguma coisa sob certas circunstâncias” (ibid., p. 191). O terceiro tipo de conhecimento específico, o saber *condicional*, diz respeito ao entendimento de quando, onde e como aplicar determinados procedimentos. Já o conhecimento geral é entendido como a gama de conhecimentos conceituais e procedimentais que são independentes de um domínio conceitual particular, sendo possível aplicar tais conhecimentos em diferentes campos conceituais e para uma ampla quantidade de atividades e problemas (ibid.).

Em harmonia com esses aspectos, em resolução de problemas também devem ser considerados dois campos distintos, mas relacionados entre si: o campo das hipóteses e o campo da experimentação (ibid.). As hipóteses são consideradas como proposições causais entre as variáveis identificadas como relevantes ao fenômeno estudado. Assim, a elaboração da primeira hipótese, logo no início da investigação, é guiada pelos conhecimentos prévios do sujeito e pela sua análise qualitativa inicial do problema. Após elaboradas, as hipóteses devem ser avaliadas quanto à plausibilidade e testadas por meio de experimentação. Gomes, Borges e Justi (ibid.) afirmam que:

Ela [hipótese inicial] pode ser originada a partir de simplificações deliberadas do problema, como a adoção de casos extremos ou limites, de aproximações e idealizações, quando os problemas enfrentados são complexos, quando o conhecimento dos sujeitos sobre a situação é insuficiente, ou quando há falta de informações fundamentais. A hipótese pode ainda ser formulada a partir de resultados de experimentos exploratórios. Uma vez geradas, as hipóteses são avaliadas segundo sua plausibilidade. Para esse julgamento, o conhecimento e a familiaridade com o domínio conceitual interferem de forma decisiva. [...]. As hipóteses são avaliadas, modificadas e mesmo formuladas por meio da experimentação. Se o objetivo for gerar informações para a formulação de novas hipóteses, os experimentos devem ser configurados para gerar informações seguras, interessantes e reveladoras. Se o objetivo da busca experimental for o teste de hipóteses, os experimentos realizados devem discriminar hipóteses plausíveis dentre as rivais” (ibid., p. 190).

Por fim, os autores concluem haver uma lacuna na literatura a respeito da interação entre os conhecimentos gerais e específicos em resolução de problemas e

atividades investigativas. De fato, esse nos parece um assunto ainda em aberto na literatura.

Depreendemos, então, ser necessário delinear pesquisas para compreender a maneira como os conhecimentos específicos e gerais, interagindo entre si, podem guiar os estudantes a melhores resultados em resolução de problemas abertos e/ou atividades de investigação científica. Nessa perspectiva, entendendo que o processo de resolução de problemas abertos deve estar inserido em uma abordagem de ensino construtivista, colocando em primeiro plano os tipos de conhecimento envolvidos, específicos e gerais, a modelagem aparece como uma abordagem didática promissora.

Problemas abertos sob uma abordagem socioconstrutivista

Além das abordagens construtivistas para resolução de problemas abertos, reconhecemos, na literatura, alguns poucos trabalhos que enfatizam a perspectiva socioconstrutivista¹² em atividades que envolvam resolução de problemas (LABURÚ, 2003; GE & LAND, 2003; 2004; HOEK & SEEGERS, 2005; KAPUR & KINZER, 2007; KAPUR, 2008).

Do ponto de vista das teorias socioconstrutivistas, a construção do conhecimento via resolução de problemas abertos é um processo social ativo mediado pelo discurso. Isso implica dizer que os estudantes crescem intelectualmente, ao se envolverem ativamente no processo colaborativo de resolução de problemas, explicitando suas ideias, colaborando nas discussões e avaliando criticamente as contribuições dos colegas e professor. Em outras palavras, a interação dialógica entre professores e alunos, cria um intercâmbio intelectual entre eles, compartilhando entendimentos a partir de extensas atividades argumentativas e de exploração do pensamento crítico (LABURÚ, 2003; GE & LAND, 2004).

Nessa perspectiva, ao mesmo tempo em que os alunos se envolvem ativamente nas interações, têm oportunidades de construir conhecimento, refletir, explicitar e trocar ideias para que sejam capazes de dar sentido aos conhecimentos (HOEK & SEEGERS, 2005). Teorias socioconstrutivistas de aprendizagem enfatizam a importância dos alunos se envolverem em atividades contextualizadas, autênticas e abertas para que ocorra aprendizagem significativa, o que geralmente não ocorre por meio das atividades que tipicamente são propostas nos ambientes escolares (KAPUR & KINZER, 2007).

Dos trabalhos investigados, o elemento do socioconstrutivismo destacado como essencial para a atividade de resolução de problemas abertos é o trabalho colaborativo. Segundo Wei e Ford (2015), “trabalhar de forma colaborativa fornece aos alunos a experiência de resolver problemas e negociar a dinâmica de trabalhar com os outros de

¹² Grande parte dos trabalhos investigados não mencionam os tipos de abordagens socioconstrutivistas, nem os autores socioconstrutivistas ou socioculturais que utilizam para sustentar seus argumentos. Como exceção, Hoek e Seegers (2005) citam os trabalhos de Lemke (1997) e Mortimer e Scott (2000).

diferentes perspectivas” (p. 51). O trabalho colaborativo envolve a co-construção do conhecimento dentro de um grupo, no qual o novo conhecimento é considerado como propriedade comum do grupo, além de estimular um ambiente de aprendizagem que promove o pensamento racional, autoavaliação e avaliação do raciocínio cognitivo dos outros (KUMAR & KOGUT, 2006).

A abordagem socioconstrutivista não foi descartada em nossos estudos. Para fins didáticos, tanto no Estudo Empírico quanto no Estudo Teórico, levamos em consideração alguns elementos do socioconstrutivismo (e.g. resolução colaborativa de problemas), particularmente as abordagens de assistência à aprendizagem (*scaffolding*), como forma de favorecer o processo de resolução de problemas abertos.

Mais adiante, ainda neste capítulo, apresentaremos uma construção teórica entre as principais características dos problemas abertos e de alguns elementos do aporte teórico da modelagem didático-científica, que servirá de referencial para a elaboração de atividades didáticas com resolução de problemas abertos. Tal articulação teórica será elaborada com base em concepções construtivistas para resolução de problemas, levando em consideração os elementos e argumentos descritos até aqui. Com esse encaminhamento, mantemos coerência com o referencial de aprendizagem da modelagem didático-científica, a TCC de Gérard Vergnaud, reconhecidamente construtivista.

6.2 Resolução de problemas abertos visto como um processo de modelagem científica

Identificamos na literatura algumas incursões na solução de problemas abertos de Física via modelagem matemática (NISS, 2012; 2017; BASSANEZI, 2012), mas que não satisfazem o que entendemos como uma abordagem potencialmente capaz de auxiliar os estudantes na construção de conhecimentos de Física e de modelagem científica. Nesta seção discutiremos tais incursões e o porquê de não serem satisfatórias. Segundo a nossa revisão da literatura, Martin Niss (2012; 2017) é o pioneiro em enfrentar a solução de problemas abertos em Física sob o ponto de vista da modelagem e, por isso, detalhamos o seu trabalho. No cenário nacional, o trabalho de Rodney Bassanezi (2012) em modelagem matemática para resolução de alguns problemas de Física é amplamente reconhecido, e por isso também será discutido nesta seção.

Martin Niss (2012; 2017) propõe uma abordagem para aprimorar o processo de resolução de problemas abertos, motivado pela relevância atribuída às abordagens de ensino que envolvem atividades de resolução de problemas abertos de Física, e com o intuito de identificar obstáculos que estudantes universitários encontram ao enfrentarem problemas dessa natureza. Tendo como ponto de partida os modelos desenvolvidos por Hestenes (1995) e Halloun (2004), Niss (2012) lança a ideia de que o processo de resolução de problemas abertos pode ser encarado como um processo de

modelagem, “onde a solução para um problema é obtida por meio de um modelo matemático” (ibid., p. 4, tradução nossa).

Segundo Hestenes (1995), modelar uma situação do mundo real passa, necessariamente, por cinco estágios: i) identificação do sistema a ser modelado e das variáveis relevantes ao problema; ii) construção/seleção de um modelo a partir dos objetivos que governam o processo; iii) determinação empírica da validade do modelo construído, comparando o modelo com o sistema na situação original; para tanto, pode ser projetada e executada uma experiência ou analisada a resposta a um problema; iv) justificar as conclusões obtidas, que ocorre, essencialmente, com o uso dos resultados da avaliação empírica; v) extrair conclusões a partir da análise do comportamento do modelo (ibid.).

Para Niss (2012), Halloun (2004) reformula o modelo de Hestenes, acrescentando, dentre outros estágios, o da escolha paradigmática, no qual o sujeito adota uma teoria geral apropriada no contexto de um paradigma científico específico. Da teoria geral, o indivíduo assume um princípio fundamental para, então, construir modelos apropriados (NISS, 2012).

Niss (ibid.) defende que o processo de resolução de problemas do mundo real requer a execução de ações e utilização de elementos característicos da modelagem. Então, tendo por base as ideias de Hestenes (1995) e de Halloun (2004), Niss propõe o modelo de resolução de problemas apresentado na Figura 6.1, que passamos a discutir.

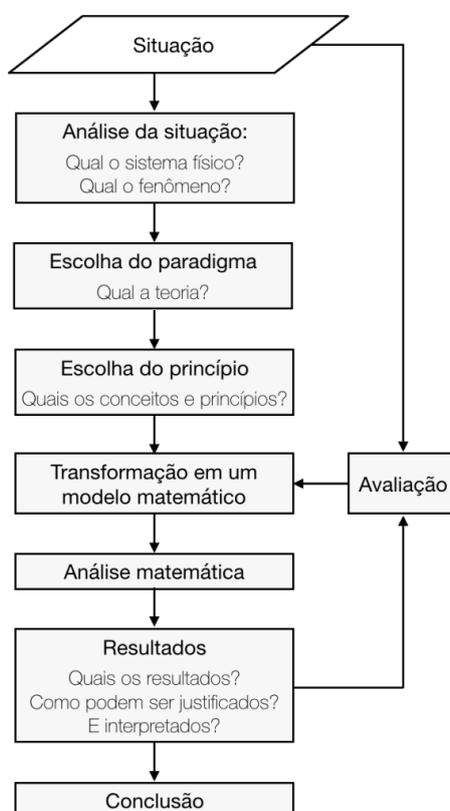


Figura 6.1: Etapas de modelagem para resolução de problemas abertos em Física, propostas por Niss (2012).

O processo de resolução começa com a análise de uma situação do mundo real, que, para se tornar passível de investigação, precisa ser formulada e interpretada em termos físicos, identificando o sistema físico e o fenômeno que precisa ser modelado. Para tanto, é preciso reconhecer os aspectos mais importantes da realidade, selecionando os objetos e as relações fundamentais para o problema. Nesse processo, algumas idealizações são feitas, implícita ou explicitamente (idem.).

Na terceira etapa, o indivíduo identifica conhecimentos teóricos relevantes e, na sequência, transforma a situação em um modelo matemático, o que exige uma escolha paradigmática da teoria física apropriada. *“Isso significa escolher uma maneira de ver o problema em termos físicos e essa escolha posteriormente afeta a forma como o problema é abordado”* (idem., p. 9 – 10, tradução nossa). As escolhas do paradigma e do princípio físico conduzem a um modelo do fenômeno analisado, e, a partir dessa construção, o modelo físico pode ser transformado em um modelo matemático, o que exige uma tradução da estrutura física em linguagem matemática (volume, pressão, comprimento, etc.). Então, como próximo estágio, o modelo matemático deve ser analisado.

Uma vez obtidos resultados, todo o processo é avaliado de acordo com os objetivos e com a validade. O nível de aprofundamento e de detalhamento do modelo são regidos pelos objetivos. Além disso, o modelo precisa ser válido, ou seja, apresentar certo grau de comparação com o sistema original¹³. Finalmente, conclusões são feitas com base nos resultados obtidos (idem.). Para Niss, os estágios propostos em seu modelo capturam o processo de resolução de todos os problemas abertos em Física. Ainda, segundo ele, a construção de modelos permite dar ênfase em aspectos de especial importância para resolução de problemas do mundo real, como a análise inicial do fenômeno.

Em trabalho mais recente, Niss (2017) busca analisar a estruturação conceitual requerida antes do processo de matematização na resolução de problemas abertos. Para tanto, o autor apresenta os resultados de um estudo com estudantes do primeiro ano de um curso de Ciências de uma universidade dinamarquesa. Em entrevistas de resolução de problemas os estudantes eram requisitados a resolver, em duplas, os dois problemas de nível médio, apresentados a seguir:

1. Uma fonte de jardim é conduzida por uma bomba elétrica de 40 W. Quão alto ela pode enviar um jato de água de uma determinada seção transversal?

¹³ Niss afirma: *“The model furthermore needs to be valid; this is achieved by comparing the model with the system in the original situation”* (NISS, 2012, p. 10). Nota-se que Niss nem sempre é muito preciso, usando o termo modelo com diferentes acepções. Supõe-se que ele queira dizer que deve ser avaliado quão bem os resultados previstos pelo modelo descrevem o comportamento do sistema original.

2. Como o diâmetro da coluna de água que cai de uma torneira depende da altura de queda?

Como forma de avaliar as ações adotadas na tentativa de solução dos problemas, Niss utilizou um modelo analítico de resolução de problemas abertos, baseado em quatro estágios: 1. Especificar o sistema – os estudantes precisam especificar os objetos do mundo real considerados relevantes para solução do problema, identificando os objetos do mundo real e suas características relevantes para resolver o problema. Essa análise se fundamenta nos conhecimentos prévios de Física e do domínio do mundo real em questão (ibid.). Esse primeiro estágio compreende, ainda, suposições e idealizações sobre o fenômeno; 2. Matematização – é o estágio em que ocorre a tradução do sistema físico em linguagem matemática¹⁴; 3. Resolução do modelo matemático – estágio no qual as questões matemáticas são respondidas; 4. Interpretação – estágio no qual o modelo resultante é interpretado em termos da situação do mundo real, levando a uma solução possível para o problema. Niss (ibid.) admite que essas etapas não são, necessariamente, lineares; podem estar emaranhadas no decurso da solução de um problema.

Segundo Niss, os resultados do estudo demonstraram que os estudantes adotaram caminhos de solução que impediram a continuidade do processo; eles não foram capazes de chegar a um modelo matemático para os problemas, e os que chegaram a tal modelo, não foram capazes de implementá-lo. Em decorrência disso, entende que se o objetivo for possibilitar aos alunos que lidem efetivamente com problemas decorrentes de situações do mundo real, que envolvem matemática, é preciso fornecer apoio instrucional a eles, ao estilo *scaffolding*, concedendo *feedback* formativo sobre seus desempenhos.

No entanto, por mais que Niss (2012; 2017) expresse preocupações com as etapas iniciais da construção de um modelo, com os primeiros estágios de resolução de um problema (e.g. análise qualitativa da situação, avaliando os principais elementos e variáveis do problema), o foco de seus trabalhos está na construção do modelo matemático de um problema. Dos exemplos de resolução de problemas abertos fornecidos em seus estudos (ibid.), percebemos que a análise inicial é muito pragmática, breve e com sucintas discussões – quando ocorrem – a respeito das idealizações, dos referentes, dos principais aspectos do mundo real que serão levados em conta pelo professor na exposição da construção do modelo matemático, dentre outros elementos. A etapa inicial proposta em seu modelo tem como principal objetivo (e parece ser o único objetivo) conduzir à construção de um modelo matemático capaz de levar a um resultado adequado para o problema.

¹⁴ Aqui identificamos outra imprecisão de Niss no que diz respeito aos elementos e características de um modelo físico. Entendemos que o modelo adotado para o sistema físico pode ser traduzido em linguagem matemática, mas não o próprio sistema físico.

Além disso, Niss não descreve em seus trabalhos os referenciais epistemológico e de aprendizagem em que se ancora, não considerando aspectos relacionados à forma como os alunos aprendem, e que os conhecimentos físicos estão servindo apenas para contextualizar as atividades de modelagem matemática. As considerações dos conhecimentos específicos da Física são circunstanciais em sua abordagem. É dada maior atenção aos procedimentos matemáticos, aos processos e etapas do campo da modelagem matemática, em detrimento à construção dos conhecimentos específicos dos campos da Física. Julgamos que esse possa ser um dos motivos das dificuldades dos estudantes em progredirem na resolução dos problemas propostos em Niss (2017): se os estudantes possuem os conhecimentos do campo específico da Física necessários à resolução dos problemas, poderão aplicá-los aos procedimentos da modelagem matemática; caso contrário, não conseguirão construir o modelo.

Um exemplo de problema aberto de Física resolvido por Niss via modelagem

A seguir, apresentaremos um exemplo proposto por Niss (2012), como forma de discutir a respeito dos elementos de modelagem que considera essencial para resolver um problema que envolve eventos físicos. Entendemos esse exemplo como representativo daquilo que Niss compreende por inclusão de elementos de modelagem na resolução de problemas abertos. Consideremos o seguinte problema:

Um plugue de alimentação é conectado a um aquecedor de água. O calor é gerado no plugue de energia devido a uma conexão solta. Quanto calor pode ser gerado na tomada?

Para resolução do problema, Niss (2012) propõe oito estágios. No primeiro, discute que uma conexão solta é um ponto do circuito elétrico onde o metal de um lado não está em contato total com o metal do outro lado da conexão, reduzindo, na junta, a área da secção transversal. Consequentemente à diminuição da área, ocorrerá aumento da resistência elétrica e aquecimento do condutor. Assim, o autor atribui ao aquecimento gerado na conexão solta a mesma quantidade de energia gerada pelo fluxo de corrente elétrica através do resistor. De forma equivalente, o aquecedor de água também é representado como um resistor. Os dois elementos, resistor da conexão solta e aquecedor de água, são, supostamente, considerados em uma associação em série. Por fim, é considerado que o papel do aquecedor de água é afetar a queda de tensão sobre o primeiro.

Como segundo estágio, Niss (ibid.) afirma “*temos um modelo físico descrevendo o que está acontecendo. Segue das considerações anteriores que a teoria física relevante é a teoria do circuito elétrico*” (p. 7, tradução nossa). Como terceiro estágio, estabelece que a lei de Joule pode ser utilizada para calcular o calor gerado devido à potência dissipada em um resistor, e propõe a ilustração da Figura 6.2.

Nas palavras do autor, “*essas ideias físicas podem se transformar em um modelo matemático*” (ibid., p. 7, tradução nossa), o que caracteriza o quarto estágio da solução. Denotando a resistência elétrica da conexão solta por R_L e a corrente elétrica por i :

$$P_L = R_L \cdot i^2.$$

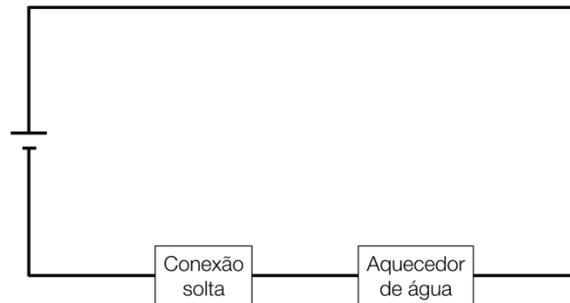


Figura 6.2: Diagrama elétrico para resolução do problema do plugue de alimentação, proposto por Niss (2012, p. 7).

Para reduzir P_L a quantidades conhecidas, e sabendo que dois resistores em série são percorridos pela mesma intensidade de corrente elétrica, Niss propõe que:

$P_L = \frac{R_L \cdot V^2}{(R_h + R_L)^2}$, sendo R_h a resistência elétrica do aquecedor de água. Buscando determinar, no quinto estágio, para quais valores de R_L , P_L atinge seu valor máximo, propõe:

$$\frac{dP_L}{dR_L} = V^2 \frac{(R_h + R_L - 2R_L)}{(R_h + R_L)^2}.$$

O plugue de alimentação atinge aquecimento máximo quando essa primeira derivada for igual a zero. Para isso, R_L deve ser igual a R_h . Com isso, chegamos ao sexto estágio, que corresponde a definir que:

$$P_{L,máx.} = R_h \cdot \frac{V^2}{(R_h + R_h)^2} = \frac{1}{4} \frac{V^2}{R_h}.$$

O sétimo estágio se configura na compreensão de que a potência fornecida ao aquecedor de água P_h é V^2/R_h . Tendo isso definido, o último estágio é reescrever a perda máxima de potência como:

$$P_{L,máx.} = \frac{1}{4} P_h,$$

concluindo que um quarto da potência dimensionada do aquecedor de água é perdido como forma de calor, em virtude da conexão solta.

Como pode ser observado, a solução do problema se concentra na solução matemática, com sucintas discussões sobre aspectos físicos. Não são discutidos os referentes do sistema, as idealizações, o grau de precisão e o domínio de validade do modelo construído, a plausibilidade dos resultados, erros que as idealizações

introduzem no modelo ou as modificações requeridas para a inclusão de novos referentes.

O processo de modelagem desenvolvido desta maneira não enfatiza a compreensão conceitual dos conteúdos de Física, da forma como se espera sob o ponto de vista da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, que salienta que são as situações que dão sentido aos conceitos. A ênfase está nos aspectos matemáticos. Na perspectiva da modelagem matemática, um determinado conceito é analisado do ponto de vista da Matemática, das funções, equações, estruturas e procedimentos matemáticos, enquanto que para Física são mais relevantes os diferentes contextos e situações que podem atribuir diferentes significados aos conceitos. Se o objetivo é alcançar um bom nível de compreensão dos conceitos físicos, segundo as orientações de Vergnaud, a estratégia da modelagem matemática, de focalizar nas estruturas da modelagem e nos procedimentos matemáticos para elaboração de um modelo, é insuficiente.

A resposta para um problema aberto que envolve eventos da Física, na perspectiva da modelagem matemática, com frequência considera de modo superficial elementos fundamentais da representação de sistemas físicos como as idealizações. Uma ilustração disso pode ser constatada no exemplo que apresentamos anteriormente, no qual Niss (2012) não faz qualquer referência à resistência elétrica dos fios do circuito elétrico. Nos procedimentos adotados pelo autor para resolver o problema, os conceitos físicos são apressadamente transferidos para a linguagem matemática, deixando de lado a construção de conhecimento desse campo conceitual.

É bem verdade que o problema apresentado por Niss, da forma como foi elaborado, não favorece que esses conceitos da modelagem didático-científica sejam trabalhados. É necessário, portanto, uma reestruturação desses problemas.

Problemas abertos de Física sob o ponto de vista de Bassanezi

Além dos trabalhos de Niss (2012; 2017), buscamos identificar o discurso teórico da modelagem matemática e a forma como ela é utilizada em atividades de resolução de problemas que envolvem eventos da Física no trabalho de uma autoridade nacional em modelagem matemática: Bassanezi (2002). Salientamos que foge do escopo dessa discussão uma revisão e descrição detalhada a respeito do campo conceitual da modelagem matemática. Pretendemos tão somente esclarecer porque não consideramos essa uma abordagem adequada para a aprendizagem de Física.

De acordo com Bassanezi (2002), modelagem matemática pode ser entendida como a arte de transformar problemas da realidade em problemas matemáticos e resolvê-los interpretando suas soluções na linguagem do mundo real. É uma forma de abstração e generalização com a finalidade de previsão e identificação de tendências. O autor entende que a modelagem matemática trabalha com aproximações da realidade, elaborando representações de um sistema ou parte dele. Em suas palavras:

“Quando se procura refletir sobre uma porção da realidade, na tentativa de explicar, de entender, ou de agir sobre ela – o processo usual é selecionar, no sistema, argumentos ou parâmetros considerados essenciais e formalizá-los através de um sistema artificial: o modelo” (ibid., p. 19).

Bassanezi (2002) define dois tipos de modelo: *modelo objeto* e *modelo teórico*. O primeiro consiste na representação de um fato ou objeto concreto. Tal representação pode ser pictórica, conceitual ou simbólica. Em relação ao modelo teórico Bassanezi afirma:

“Ele [modelo teórico] deve conter as mesmas características que o sistema real, isto é, deve representar as mesmas variáveis essenciais existentes no fenômeno e suas relações são obtidas através de hipóteses (abstratas) ou de experimentos (reais)” (ibid., p.20).

Ele se refere a *Modelo Matemático* como o conjunto de símbolos e relações matemáticas que representam, de alguma forma, o objeto estudado.

Assim como Niss (2012; 2017), Bassanezi (2002) também apresenta exemplos de problemas que envolvem eventos físicos resolvidos a partir da perspectiva da modelagem matemática. Apresentamos, a seguir, o exemplo de um circuito RLC, resolvido por Bassanezi (2002). Na visão do autor, a solução do problema se concentra na solução das equações diferenciais; a explicitação de idealizações imprescindíveis para se interpretar a realidade à luz de uma teoria é ignorada, assim como a interpretação da solução e discussão do limite de validade do modelo.

Buscando demonstrar a equivalência entre um modelo que descreve o comportamento transitório de um circuito RLC e de um oscilador harmônico para vibrações mecânicas, Bassanezi (2002) apresenta o seguinte exemplo de modelagem matemática:

“Um circuito elétrico RLC, esquematizado na Figura 6.3, contém os seguintes dispositivos: R (resistores), C (capacitores) e L (indutores). Um circuito elétrico é uma sequência fechada de dispositivos conectados. Os elementos relacionados no circuito elétrico, também chamados dipolos, possuem duas extremidades que são conectadas com outros dipolos. As medidas importantes na descrição do estado de cada dipolo são:” (p. 142).

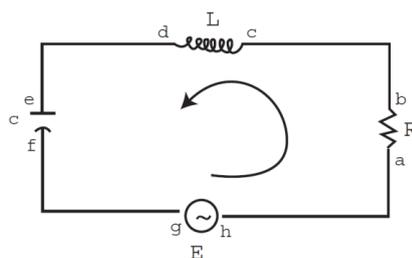


Figura 6.3: Esquema de um circuito RLC. Retirado de Bassanezi (ibid., p. 143).

Resolvendo-o do seguinte modo.

A corrente entre os pontos a e b é dada por:

$$i(t) = \frac{dq}{dt} . \quad (6.1)$$

Então, a queda de tensão entre esses pontos é dada por:

$$V_{ab}(t) = V_a(t) - V_b(t) . \quad (6.2)$$

Bassanezi (ibid.) argumenta que para cada tipo de dipolo existe uma relação entre corrente e queda de tensão, utilizando a lei de Ohm para chegar a:

$$V_{ab}(t) = R \cdot i_{ab}(t) . \quad (6.3)$$

Utiliza, também, o enunciado da lei de Henry: “a queda de tensão em um indutor é proporcional à variação da corrente que passa por ele” (ibid., p. 144), para chegar a:

$$V_{cd}(t) = L \frac{di_{cd}(t)}{dt} , \quad (6.4),$$

onde a constante positiva L é a indutância.

Relacionado à capacitância, “a carga acumulada por um capacitor é proporcional à diferença de potencial entre seus polos” (idem, p. 144). Logo,

$$q_{ef}(t) = CV_{ef}(t) , \quad (6.5),$$

onde a constante positiva C é a capacitância.

Da equação (6.1), podemos estabelecer que:

$$q_{ef}(t) = \int_{t_0}^t i_{ef}(t) dt = CV_{ef}(t) \quad (6.6)$$

ou

$$i_{ef}(t) = C \frac{dV_{ef}(t)}{dt} , \quad \text{com } V_{ef}(t_0) = 0 \quad (6.7)$$

Usando a lei das malhas, que estabelece que num circuito fechado a soma das quedas de tensões é nula:

$$V_{ab}(t) + V_{cd}(t) + V_{ef}(t) + V_{gh}(t) = 0 , \quad (6.8),$$

sendo

$$V_{gh}(t) = -E(t) . \quad (6.9).$$

Logo,

$$R \cdot i + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i \cdot dt - E(t) = 0 \quad (6.10)$$

Derivando a equação (6.10), obtêm-se:

$$L \frac{d^2i}{dt^2} + R \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} i = \frac{dE}{dt} . \quad (6.11)$$

Como descreve Bassanezi, o modelo descrito pela equação (6.11) é “análogo ao do oscilador harmônico para vibrações mecânicas” (idem., p. 145).

O principal argumento que estamos trazendo à discussão é: a modelagem matemática tem como foco obter a solução das equações que descrevem o sistema levando em conta os comportamentos esperados; já a modelagem científica, na acepção de Heidemann, Araujo e Veit (2016 a; 2018), tem como objetivo principal a compreensão do fenômeno físico e dos conceitos dos campos conceituais da Física e da modelagem envolvidos na tarefa. Embora contenha equações matemáticas a serem trabalhadas, o modelo físico é muito mais do que isso; engloba a delimitação de questões para orientar a investigação dos objetos/eventos reais que farão parte do sistema ou que sobre ele atuarão, dos pressupostos teóricos assumidos nas idealizações do sistema, das representações esquemáticas, das estimativas, das aproximações. A solução de um problema aberto de Física via modelagem, requer que sejam discutidas as limitações do modelo, seu grau de precisão, seus possíveis fatores de erros e a plausibilidade das respostas. Apesar de compartilharem um núcleo comum, o da representação matemática, a modelagem física e a modelagem matemática, como apresentadas aqui, diferem no foco e na importância dada aos conceitos do conteúdo específico. Se por um lado uma crítica pertinente pode ser feita a uma visão ingênua da matemática meramente como uma linguagem para a física, da mesma forma, a concepção que a física se resume apenas a uma aplicação particular da matemática não é adequada.

Tomando como referência o aporte teórico da modelagem científica que estamos adotando, ao abordarmos um problema que envolve questões orientadoras para investigação de um circuito RLC analisaríamos qualitativamente o problema, identificando, inicialmente, diferentes situações em que esses conceitos também são aplicados. Essa primeira etapa justifica-se, pois, segundo Vergnaud, são as situações que dão sentido aos conceitos, e a aprendizagem ocorre a partir do domínio de diferentes tipos de situações. A análise qualitativa busca a compreensão global do problema, e pressupõe que sejam explicitados os conceitos-chave para resolvê-lo, dentre eles: resistência elétrica, capacitância e indutância elétrica.

Para representar o sistema físico real, seriam elencados os objetos a serem considerados: fios de ligação, resistor, capacitor, indutor e o gerador elétrico. Tal representação ocorre por meio de simplificações da realidade, necessárias para que o sistema físico real possa ser representado pelos modelos conceitual e teórico de nossa escolha. Assumiríamos, num primeiro passo, que a resistência elétrica em um circuito elétrico se concentra no resistor, sendo desprezível frente a ela a resistência elétrica de outros elementos como a dos fios de condução, do gerador, capacitor e indutor, podendo assim serem negligenciadas. Dessa forma, poderíamos por princípio representar esses elementos reais como ideais, mesmo sabendo que de fato não o são. Atentaríamos para a(s) característica(s) do gerador ideal e do indutor ideal: i) gerador

ideal tem por característica a resistência interna nula; ii) o indutor ideal não apresenta resistência elétrica, enquanto que os indutores reais, como bobinas, apresentam resistência elétrica. Além disso, poderíamos discutir a respeito da energia armazenada em indutores ideais, que permanece constante quando a corrente elétrica se mantém estacionária. Em indutores reais, por mais que a corrente elétrica permaneça constante, haverá dissipação de energia por efeito Joule, já que o indutor possui uma resistência elétrica associada.

Chamaríamos a atenção que efeitos transientes relacionados ao chaveamento do circuito estão sendo desprezados, apesar de existirem em um circuito elétrico real. É preciso, também, discutir o fato de o resistor elétrico ser assumido como estando em um regime ôhmico. Além disso, dependendo da intensidade da resistência elétrica assumida, o circuito pode ser classificado como: i) amortecido – ou subamortecido, para resistência elétrica pequena; ii) criticamente amortecido, para resistência elétrica grande, e; iii) superamortecido, para resistência elétrica muito grande.

Posteriormente, as idealizações assumidas podem ser modificadas à medida em que se deseja modificar o grau de precisão e o domínio de validade do modelo. Em situações didáticas, essa abordagem estimula que sejam discutidas as diferentes possibilidades e motivações que levam às simplificações do evento físico.

Após as argumentações necessárias para a construção do modelo teórico, via modelagem científica proposta por Heidemann, Araujo e Veit (2016 a; 2018), chegaríamos a mesma equação (6.10):

$$L \frac{d^2i}{dt^2} + R \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} i = \frac{dE}{dt}.$$

Obtido um resultado para o problema, passa a ser analisada a razoabilidade da resposta; o quão ela se aproxima da realidade e atinge o grau de precisão e domínio de validade desejados.

Reconhecemos que a modelagem matemática é uma das grandes áreas de estudo da Matemática, e que é relevante tanto para sua pesquisa quanto para o seu ensino. No entanto, o que estamos ressaltando é que, no enfrentamento de problemas que envolvem eventos físicos, o foco da modelagem matemática tem natureza distinta do foco da modelagem física. Tendo isso em vista, sustentamos que nossa proposta de resolução de problemas abertos em Física, vista como um processo de modelagem científica, se afasta dos processos de resolução de problemas realizados pela modelagem matemática.

Levando em consideração o que discutido até aqui, a seguinte questão de pesquisa se interpõe: *“De que forma os conhecimentos específicos e gerais do campo conceitual da modelagem didático-científica e dos campos conceituais específicos da Física podem ser integrados, em uma abordagem construtivista de ensino, de modo a*

auxiliar estudantes de Ensino Médio a progredirem na resolução de problemas abertos em Física?”.

Com o intuito de responder a essa questão, apresentaremos a seguir, uma articulação teórica entre os principais elementos do processo de resolução de problemas abertos, apontados pela literatura, e os conceitos fundamentais da estrutura conceitual de referência da modelagem didático-científica de Heidemann, Araujo e Veit (2018).

Tal construção teórica poderá ser utilizada com a finalidade de guiar a elaboração de abordagens didáticas de resolução de problemas abertos, de caráter construtivista, com foco na relação entre os conhecimentos conceituais e gerais dos campos conceituais específicos da Física e do campo conceitual da modelagem didático-científica.

6.3 Articulação Teórica de Referência (ATR)

Da revisão da literatura sintetizamos o processo de resolução de problemas abertos em quatro etapas. A Figura 6.4 reapresenta, de maneira sucinta, essas etapas, algumas de suas principais características e alguns dos requisitos necessários para a solução de problemas abertos.

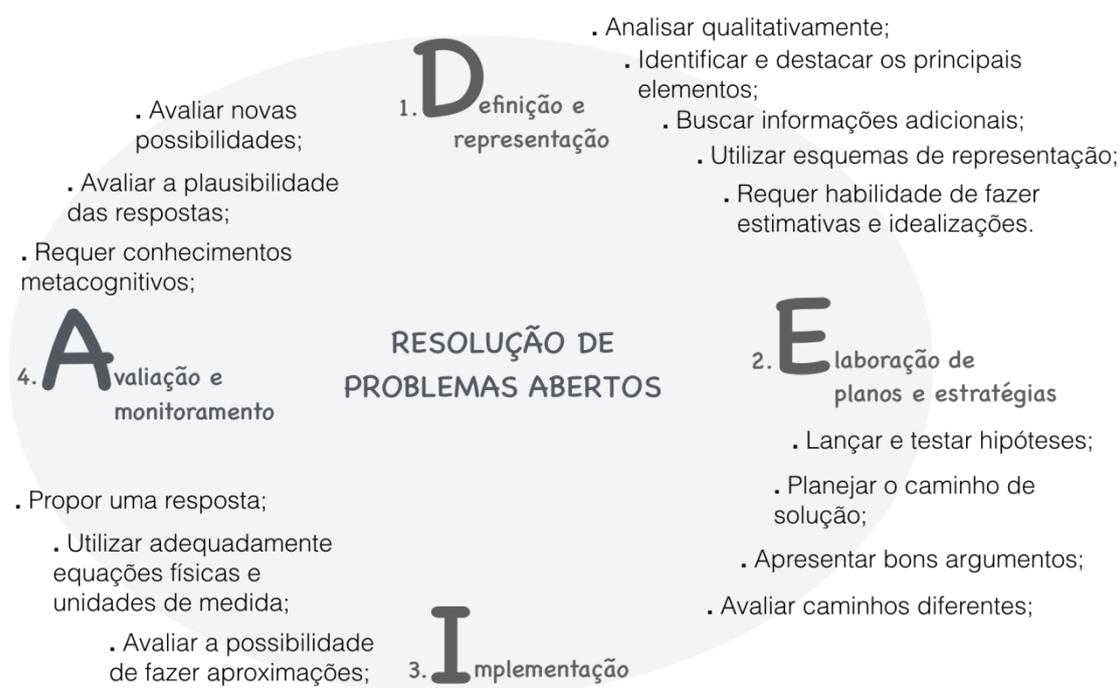


Figura 6.4: Etapas de resolução de problemas abertos, suas principais características e elementos requeridos para a realização da tarefa (Fonte: o autor).

Na primeira etapa, denominada *definição e representação*, é feita uma análise qualitativa inicial do problema, com o objetivo de compreender os seus aspectos principais, as grandezas físicas mais relevantes e as relações fundamentais entre elas. É

possível que um processo mais profundo de análise e busca de informações ocorra posteriormente, objetivando definir melhor o problema. Na sequência, com a finalidade de representar adequadamente a situação problemática, é recomendável que sejam utilizados esquemas, tais como ilustrações pictóricas, gráficos, tabelas. Alguns autores indicam a necessidade de idealizações e realização de estimativas de grandezas físicas. Uma vez realizada a primeira etapa, parte-se à *elaboração de planos e estratégias* de solução do problema. Esse estágio se dá, em grande medida, pela elaboração e teste de hipóteses, buscando adotar, dentre diferentes possíveis caminhos para a solução, aquele para o qual é possível apresentar os melhores argumentos.

Em relação às estimativas, Weinstein (2012) alerta que as mais variadas ações cotidianas necessitam de estimativas, seguidas de um processo de tomada de decisão. Grande parte dessas tomadas de decisões a partir de estimativas não precisam de resultados exatos, mas sim de situar sua resposta em uma das três categorias: i) muito pequeno; ii) muito grande; iii) intermediário. Se a resposta for 'muito pequeno' ou 'muito grande' (e.g. para o tempo de viagem de um final de semana), a reação é imediata, mas se a resposta cair na categoria 'intermediária', há necessidade de se buscar mais informações para a tomada de decisão.

Em outro exemplo, Weinstein (ibid.) considera a tomada de decisão de um indivíduo, relacionada à compra de um suposto painel solar para seu novo carro. Se a economia de gasolina, por ano, atribuída à colocação desse painel for consideravelmente baixa (categoria 'muito pequeno'), a decisão será de não comprá-lo; se a economia de gasolina for consideravelmente alta (categoria 'muito grande'), a decisão será comprá-lo. No entanto, se a quantidade de gasolina economizada for um valor intermediário, haverá necessidade de mais informações para que, com uma resposta mais precisa, ocorra a tomada de decisão.

Weinstein (idem.) considera que depois de passar pelas três etapas propostas para facilitar a construção de uma estimativa, chegando a um valor final para a grandeza que se está analisando, é importante comparar a resposta a um padrão razoável (ou não razoável), o que faz o valor estimado recair em uma das categorias elencadas anteriormente ('muito pequeno', 'muito grande' e 'intermediário'). Já Linder (1999) entende que relações de igualdade, desigualdade e proporcionalidade entre dois ou mais objetos podem ser utilizadas muitas vezes para resolver problemas de estimativa.

No contexto do nosso estudo, consideramos estimativa como um elemento que inclui avaliação da viabilidade de uma ideia, planejamento de experiências, dimensionamento de componentes (LINDER, 1999). Estimar é sinônimo de análise, no sentido de que todas as quantidades são determinadas para algum nível de especificidade.

Na terceira etapa, *implementação das estratégias de solução*, os estudantes empregam o plano de ação construído na etapa anterior do problema. É nesse estágio

que as equações físicas são, de fato, aplicadas, chegando a um resultado final para o problema. A resposta ao problema deverá ser avaliada quanto à coerência com o caminho de solução adotado e com o fenômeno do mundo real. Por fim, a quarta e última etapa, *avaliação e monitoramento* do processo, consiste em avaliar a plausibilidade do processo como um todo, além de julgar se novos caminhos de solução são úteis para atingir resultados mais condizentes com a realidade.

Embora os trabalhos localizados na literatura tenham optado por descrever o processo de resolução de problemas abertos por meio de etapas, salienta-se que não há, necessariamente, linearidade no processo. Não existem procedimentos que, implementados de forma ordenada, seguindo um passo a passo, possam conduzir, seguramente, a um resultado satisfatório. Entende-se que, em geral, esses estágios estão entrelaçados, e o processo é repleto de idas e vindas, percorrendo por diversas vezes todos os estágios, sem que, necessariamente, a ordem apresentada seja respeitada nas ações do sujeito.

Em todo processo de resolução de um problema aberto é essencial o emprego de processos metacognitivos. Num primeiro momento, é fundamental o *conhecimento sobre o conhecimento*, que é a tomada de consciência das informações disponíveis e das que ainda precisam ser conhecidas para realização da tarefa, dos processos e das competências necessárias à sua realização. Em um segundo momento, é essencial a *autorregulação*, que permite avaliar a execução da tarefa e realizar correções quando necessárias, o que requer controle de atividades cognitivas (RIBEIRO, 2003).

Cabe reiterar que o modelo da Figura 6.4, construído a partir das principais características e estágios do processo de resolução de problemas abertos em Física, identificados na literatura, não contempla os elementos da abordagem socioconstrutivista. Tais elementos serão considerados em nossa proposta de abordagem didática a partir de resultados da literatura sobre a utilização de abordagens *scaffolding* em atividades de resolução de problemas abertos.

No Capítulo 3 apresentamos as figuras 3.2 e 3.3 que exibem, respectivamente, a ECR e a ECR+, correspondentes à Estrutura Conceitual de Referência da MDC e da MDC+, e discutimos vários dos invariantes operatórios propostos. Aqui, sintetizamos no Quadro 6.1 alguns conceitos e invariantes operatórios de caráter geral, associados ao conceito de modelo e modelagem científica, e conceitos e invariantes operatórios específicos do trabalho experimental.

Nossa intenção ao apresentar este quadro é ilustrar o tipo de conhecimentos associados à modelagem científica que levamos em consideração na construção de uma Articulação Teórica de Referência (ATR), que conecta os principais elementos da resolução de problemas abertos, incluindo suas etapas, suas características e elementos cognitivos requisitados para o cumprimento de uma tarefa, com os aspectos fundamentais da MDC+, passíveis de serem introduzidos em nível de Ensino Médio.

Quadro 6.1: Conceitos da ECR da modelagem científica e exemplos de invariantes operatórios gerais e específicos, na coluna da esquerda; à direita, conceitos e invariantes operatórios específicos do trabalho experimental. Extraído e adaptado de Heidemann (2015, p. 159 – 160). (continua)

Conceitos Gerais		Conceitos vinculados ao trabalho experimental	
Conceito	Invariante Operatório de Referência	Conceito	Invariante Operatório de Referência
Modelo e modelagem científica	Formular questões sobre uma situação física a serem respondidas pela construção e/ou exploração de um modelo científico.	Delineamento Experimental	Formular questões sobre uma situação física a serem respondidas por meio do uso de modelo(s) científico(s) em uma investigação empírica.
	Decidir que tipo de representação construir para responder às questões formuladas.		Escolher o modelo científico que amparará o delineamento e a interpretação da investigação empírica, ou seja, escolher um modelo teórico de referência.
	Representar a situação física de modo esquemático e à luz de algum campo conceitual específico da Física.		Delinear um arranjo experimental baseado no modelo teórico de referência para utilizar na investigação empírica.
	Analisar a razoabilidade dos resultados obtidos com a versão do modelo científico construído e/ou explorado por meio da busca de suportes empíricos e/ou racionais.		
Referente	Delimitar objetos e eventos reais, ou supostos como tais, que compõem o sistema físico e sua vizinhança e que serão alvo de representação.	Evidência	Estabelecer relações entre dados empíricos e o comportamento dos referentes do modelo teórico de referência da investigação.
Idealização	Dado um sistema físico, decidir quais dos seus traços-chave apreender.	Controle de variáveis	Estabelecer procedimentos de controle de variáveis que minimizem a influência dos fatores desprezados no modelo teórico de referência da investigação.
Aproximação	Dado um sistema físico previamente idealizado, decidir quais simplificações matemáticas serão assumidas, tais como: desprezar efeitos que são pequenos, considerar relações lineares, desprezar ruídos, etc.		

Quadro 6.1: Conceitos da ECR da modelagem científica e exemplos de invariantes operatórios gerais e específicos, na coluna da esquerda; à direita, conceitos e invariantes operatórios específicos do trabalho experimental. Extraído e adaptado de Heidemann (2015, p. 159 – 160). *(continuação)*

Conceitos Gerais		Conceitos vinculados ao trabalho experimental	
Conceito	Invariante Operatório de Referência	Conceito	Invariante Operatório de Referência
Variáveis/ Parâmetros	Identificar quais variáveis/parâmetros são necessários para representar o sistema físico e quais delas podem assumir valores numéricos contínuos e quais discretos.	Operação Empírica	Definidas as grandezas que necessitam ser conhecidas em uma investigação, delinear operações empíricas para a coleta de dados empíricos pertinentes para a pesquisa.
		Evidência	Coletado um conjunto de dados empíricos brutos, realizar a(s) transformação(ões) necessária(s) para torná-los contrastáveis com predições.
		Predição	Baseado em hipóteses e/ou no modelo teórico de referência da investigação, e em dados conhecidos sobre o evento físico investigado, prever o comportamento das grandezas pertinentes para a investigação realizada.
Domínio de validade	Identificar situações em que os resultados teóricos fornecidos pelo modelo não coincidem com o comportamento do sistema físico dentro de uma margem de erro tolerável.	Contratação Empírica	Confrontar as predições com as evidências da investigação avaliando se as evidências construídas fornecem um apoio empírico à teoria geral contrastada ou se a discordância entre as predições e evidências supera a tolerância aceitável para a investigação.
Grau de precisão	Dada uma idealização, avaliar qualitativa e quantitativamente o erro por ela introduzido no modelo.		Avaliar o domínio de validade e o grau de precisão do modelo teórico de referência da investigação por meio da confrontação das predições confeccionadas com base no mesmo com as evidências construídas na pesquisa.

Ao ampliar a Modelagem Didático-Científica de modo a incorporar o fazer experimental, Heidemann, Araujo e Veit (2016 a; 2016 b; 2016 c; 2018) propuseram uma metodologia de ensino, cujo objetivo é fomentar autonomia dos alunos para o delineamento, execução e avaliação de atividades experimentais. Os Episódios de Modelagem, como denominaram,

i) *demandam uma postura ativa dos estudantes, possibilitando o desenvolvimento de competências relacionadas com a criação de questões de pesquisa, o delineamento de experimentos, a execução crítica de operações empíricas e a análise de dados experimentais, e;*
ii) *evidenciam aspectos importantes do processo de modelagem científica, dando oportunidades para que construam concepções não ingênuas sobre a natureza da Ciência* (HEIDEMANN, ARAUJO & VEIT, 2018, p. 354 – 355).

As atividades de ensino são conduzidas, via Episódios de Modelagem, em três etapas: i) *Discussão inicial*, na qual o problema é apresentado aos estudantes a partir de uma exposição dialogada; ii) *Investigação*, na qual os estudantes, organizados em pequenos grupos, realizam investigações experimentais para resolver o problema proposto. Nessa etapa, é fornecido aos estudantes um guia de atividade composto por opções de investigação, aspectos relacionados à investigação e conhecimentos científicos úteis para o estudo; iii) *Discussão final*, na qual os estudantes expõem ao grande grupo seus resultados e procedimentos adotados na investigação. Nessa etapa, o professor tem papel de mediador das discussões, garantindo que ocorra debates produtivos sobre aspectos relacionados ao conhecimento científico e ao processo de modelagem científica, e a consolidação de um ambiente de aprendizagem colaborativa (ibid.). Com o que foi descrito até aqui, percebemos que a dinâmica proposta para os Episódios de Modelagem está um tanto alinhada com a abordagem socioconstrutivista de ensino, na qual os estudantes expõem as suas ideias, avaliam criticamente as contribuições dos colegas e interagem ativamente no processo de aprendizagem.

Ao analisar as atividades experimentais propostas por Heidemann (ibid.), identificamos que, embora cada uma focalize diferentes elementos do campo conceitual da MDC+, o processo de resolução de um problema investigativo via Episódio de Modelagem perpassa pelos seguintes tipos de tarefa: i) estudar previamente; ii) compreender o problema; iii) definir o modelo teórico de referência; iv) planejar o arranjo experimental; v) coletar os dados experimentais; vi) analisar os dados experimentais; vii) propor conclusões; viii) debater os resultados e as conclusões.

No Quadro 6.2 é mostrado uma síntese da Articulação Teórica de Referência, desenvolvida na sequência.

Nosso objetivo é ir além do agrupamento de elementos do campo conceitual da modelagem didático-científica e da resolução de problemas abertos em Física, argumentando a favor de uma estrutura conceitual coerente entre esses dois campos. Dito de outra forma, pretendemos defender a tese de que **o processo de resolução de problemas abertos em Física pode ser entendido como um processo de modelagem didático-científica**, na acepção de Heidemann, Araujo e Veit (2016 a; 2018).

Quadro 6.2: Descrição sintética da Articulação Teórica de Referência para o processo de resolução de problemas abertos em Física, em nível médio, à luz da MDC+.

Etapas de resolução de problemas	Procedimentos de resolução de problemas, à luz da MDC+
1. Definição e representação do problema	<p>O processo de resolução começa com a apresentação de um problema aberto, que pode variar em grau de dificuldade e abstração, desde que mantenha algumas das principais características desse tipo de problema, definido no Capítulo 2. O problema proposto deve, portanto, corresponder a um evento do mundo real, com certo grau de contextualização capaz de instigar os estudantes a mobilizar conhecimentos e esforços para o seu enfrentamento. De acordo com a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, o desenvolvimento cognitivo (e a aprendizagem) ocorre a partir da compreensão e domínio, progressivo, de diferentes tipos de situações. O conceito de situações pode ser entendido como tarefas, teóricas ou empíricas, que o indivíduo tem de resolver (VERGNAUD, 1996). Um problema aberto, portanto, deve envolver um conjunto de situações frutíferas, planejadas e fornecidas pelo professor, capazes de desenvolver um repertório de esquemas e representações, permitindo aos estudantes enfrentar problemas e situações cada vez mais complexas.</p> <p>Para estudar uma situação deve-se, inicialmente, fazer uma análise qualitativa do problema, que tem como objetivo: i) compreender o problema a partir da identificação e explicitação dos conceitos-chave e das relações fundamentais entre as principais grandezas físicas envolvidas; ii) representar os entes do mundo real, ou seja, os referentes do sistema físico apresentado, ou que atuam sobre ele. Tal representação é feita a partir de idealizações, que selecionam os aspectos mais relevantes do problema, frente aos objetivos estabelecidos pela questão orientadora da investigação, desencadeada pela situação física inicialmente apresentada.</p>
2. Elaboração de planos e estratégias de solução	<p>As idealizações impostas aos entes envolvidos no sistema físico resultam em um modelo conceitual, que é uma representação simplificada do evento real. Para atingir esse estágio, muitas vezes, é preciso que estimativas de grandezas físicas sejam realizadas. Diversos modelos conceituais podem ser propostos. Quando um modelo conceitual é encaixado em uma teoria geral, se obtém um modelo teórico (i.e. uma teoria específica) como produto. À medida que diferentes idealizações são feitas, ou que cada vez mais elementos do real são considerados, como forma de aperfeiçoamento do modelo, surgem diferentes caminhos para a solução do problema. É importante que o professor auxilie os estudantes nessas tarefas; a fazer conjecturas e antecipações, a esclarecer os objetivos, e reduzir a margem de incertezas. Em outras palavras, o professor “precisa se</p>

Etapas de resolução de problemas	Procedimentos de resolução de problemas, à luz da MDC+
	interessar pelos diferentes componentes do esquema que deseja ver emergir entre os alunos” (VERGNAUD, 2012, p. 303).
3. Implementação das estratégias	O desenvolvimento de um modelo teórico em linguagem matemática leva a uma resposta para o problema proposto. No entanto, é possível que o modelo teórico precise passar por uma etapa mais estruturada, de elaboração e teste de hipóteses, que pode envolver operações empíricas. Ao final, as operações empíricas também darão condições de se chegar a uma resposta do problema.
4. Avaliação e monitoramento do processo	O resultado obtido deverá, ainda, ser avaliado quanto à sua plausibilidade. Dentre outras coisas, é necessário verificar se o resultado é coerente com o caminho de solução adotado e com a realidade. Caso o resultado não esteja dentro de um espectro aceitável, ou seja, caso as previsões do modelo não tenham atingido o grau de precisão pretendido, novas idealizações podem ser pensadas, reiniciando boa parte do processo de resolução/investigação. Toda essa etapa requer, em grande medida, processos metacognitivos, como planejamento e autorregulação.
5. Exposição dos resultados e discussões finais	<p>A exposição dos resultados obtidos e procedimentos adotados no processo de resolução do problema contribui para o desenvolvimento de estruturas argumentativas, construção de conhecimentos específicos e gerais de algum campo conceitual da Física e da modelagem didático-científica.</p> <p>Nessa etapa deve-se estimular os grupos a compararem seus resultados e caminho(s) de solução com outros grupos de estudantes, tendo em vista que o mesmo resultado para um problema aberto pode ser alcançado por caminhos distintos, se valendo de diferentes argumentos. As discussões em grande grupo, resultado desse tipo de atividade, tendem a ser muito enriquecedoras.</p> <p>À luz da TCC de Vergnaud, um dos desafios do ensino é desenvolver, simultaneamente, os conhecimentos predicativos e operatórios de um sujeito em situação. Uma etapa de explicitação dos resultados obtidos pelos estudantes, estimulando um ambiente de debate em sala de aula, pode favorecer o desenvolvimento desses conhecimentos.</p> <p>É interessante, ainda, que os estudantes sejam solicitados a estabelecer perspectivas para futuros estudos, indicando melhorias que possam ser introduzidas no modelo para que a resposta ao problema apresente melhor grau de precisão, uma nova questão de</p>

Etapas de resolução de problemas	Procedimentos de resolução de problemas, à luz da MDC+
	<p>pesquisa que possa ser analisada como forma de expansão do modelo, ou diferentes situações em que o modelo poderia ser utilizado.</p> <p>Por fim, como forma de refletir sobre os procedimentos adotados, e aprofundar e consolidar conhecimentos dos estudantes, o professor pode apresentar diferentes possibilidades de criação de modelos conceituais, buscando ampliar o domínio de validade do modelo a partir da inclusão de novos referentes, novas variáveis e parâmetros, e diferentes idealizações.</p>

A revisão da literatura apontou que o requisito cognitivo mais relevante à solução de problemas, independente do tipo, é o conhecimento de domínio. Para que os estudantes enfrentem atividades de resolução de problemas é fundamental que disponham, em algum grau, de conhecimentos conceituais e procedimentais (ou específicos e gerais, dependendo da classificação utilizada). À luz da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, nossa intenção é que os alunos progridam na conceitualização do real, mais especificamente, de fenômenos físicos, o que depende da compreensão de conceitos, definidos pela tríade: um conjunto de situações que dão sentido ao conceito; um conjunto de invariantes operatórios, em que se baseiam a operacionalidade dos esquemas e; um conjunto de representações simbólicas, que permite representar as propriedades, as situações e os procedimentos de tratamento de um conceito (VERGNAUD, 1993).

Como temos argumentado, para a construção de conhecimentos específicos e gerais de campos conceituais específicos da Física e do campo conceitual da MDC+, os estudantes deverão ser expostos a uma variedade de situações, diferentes daquelas que costumeiramente são apresentadas no ‘ensino tradicional’. Uma abordagem didática que leve em consideração essas questões, permitirá que os estudantes aprimorem e/ou desenvolvam uma ampla variedade de esquemas de pensamento e representações simbólicas.

O processo de resolução de um problema aberto inicia com a apresentação de uma situação física do mundo real ou associada a ele. Inicialmente, essa situação apresentará uma questão a ser resolvida, que tende a orientar o processo de resolução/investigação. Na continuidade do processo é comum que surjam novas questões orientadoras.

À luz da modelagem científica, a questão inicial, chamada questão de pesquisa, é o ponto de partida da investigação; é o estágio inicial para que um sujeito, em ação de modelagem científica, possa construir uma representação simplificada dos fatos da realidade. Na literatura, identificamos que um problema ganha o *status* de ‘situação-problema’ a partir do momento em que o indivíduo passa a sentir necessidade de

resolvê-lo; a partir do momento em que o encara como um problema a ser resolvido e mobiliza-se para enfrentá-lo. Os problemas abertos apresentados em situações didáticas deverão, portanto, apresentar o caráter de situação-problema, despertando nos estudantes motivação para mobilizarem esforços no desempenho da tarefa.

Sob o ponto de vista da resolução de problemas abertos, é fundamental que na primeira etapa de resolução seja feita uma análise qualitativa do problema, buscando identificar e elencar os principais elementos que compõem o problema, considerando as relações fundamentais entre as grandezas físicas. Essa análise inicial busca compreender o problema e chegar a uma representação da situação. Do ponto de vista da modelagem didático-científica, dado um sistema físico de interesse, é importante realizar uma representação simbólica do fenômeno do mundo real. Tal representação parte de idealizações feitas a partir da descrição dos traços-chave dos objetos e eventos da realidade que fazem parte do sistema físico ou atuam sobre ele (ou seja, os referentes), desprezando os efeitos considerados como secundários. A definição dos objetos de interesse para a representação da situação física depende dos objetivos do problema de investigação, que, por sua vez, estão atrelados à questão orientadora.

A representação simplificada de um objeto ou evento real, ou suposto como tal (e.g. elétrons), a partir de idealizações, resulta em um modelo conceitual (ou objeto-modelo). Tal modelo, por ser concebido a partir de simplificações dos referentes, omite muitos aspectos da realidade. Para auxiliar nossas discussões discutimos o problema da estimativa da aceleração média de uma aeronave comercial em seu procedimento de decolagem.

Um estudante de Física, em sua primeira viagem de avião comercial, se propõe a estimar a aceleração média desenvolvida pela aeronave em sua decolagem, atentando para algumas grandezas físicas. Qual a estimativa para a aceleração média que você supõe que ele possa ter obtido?

Da perspectiva da articulação teórica que é defendida neste trabalho, a resolução do problema passa pela análise inicial da situação, que apresenta, como questão orientadora, a determinação de um valor estimado para a aceleração média de um avião comercial. Como essa análise busca compreender o fenômeno, é preciso que os estudantes destaquem os elementos já conhecidos e as grandezas físicas que inicialmente consideram relevantes, buscando estabelecer a relação entre elas. Essa construção envolve, obrigatoriamente, os conceitos associados ao conteúdo específico já compreendidos pelos estudantes. O processo de representação é sempre feito a partir de pressupostos teóricos, mesmo que incipientes. É importante enfatizar esse aspecto para que não haja o reforço de uma inadequada concepção empirista-indutivista sobre o fazer ciência, como se fosse possível se despir de todos os pressupostos teóricos e se teorizar de forma neutra a partir de observações da realidade.

Simultaneamente, uma representação do problema começa a ser construída a partir de idealizações dos objetos ou elementos relevantes para a conceitualização do fenômeno. A representação depende dos objetivos estabelecidos, que estão intimamente atrelados ao grau de precisão que se pretende com o modelo. Como o exemplo apresentado requer uma estimativa de aceleração média, é suficiente representar a aeronave por um modelo de partícula ou é fundamental que o referente seja tratado como corpo extenso? E como corpo rígido? Precisamos considerar todas as características da pista de decolagem? Comprimento, ondulações, material da superfície, são importantes? A massa do avião é relevante? O número de turbinas da aeronave e o número de passageiros devem ser levados em conta? O sentido de movimento do avião é a favor ou contra a velocidade dos ventos? Podemos desprezar qualquer efeito de resistência com o ar? É possível observar que algumas das questões se relacionam, de forma direta ou indireta, com conteúdos específicos do domínio da Física, que aqui supomos estarem sendo trabalhados com aos estudantes, indo além de suas experiências cotidianas simples.

Essas são apenas algumas das possíveis questões a serem avaliadas no processo de idealização do fenômeno. Um dos modelos que poderia ser usado para esse problema é o de movimento retilíneo de uma partícula com aceleração constante. Esse modelo nada mais é que uma possível representação simplificada do movimento de um avião comercial em uma pista de decolagem. A construção do modelo conceitual dá início ao que podemos entender como segunda etapa da resolução de problemas abertos.

O modelo conceitual construído – movimento retilíneo uniformemente acelerado de uma partícula – inserido em uma teoria geral, resulta no modelo teórico da situação física apresentada. Caso estivéssemos interessados em estudar algumas forças que possam estar afetando o movimento, designaríamos as leis da mecânica newtoniana para a construção do modelo teórico. No entanto, o modelo conceitual a ser construído poderia, ainda, ser encaixado em outras teorias gerais (mecânica lagrangeana ou na mecânica hamiltoniana) e, mesmo assim, resultar em solução equivalente para o problema. É importante considerar que a mecânica newtoniana, assim como qualquer outra teoria geral, não fornece previsões sobre o problema específico em questão; ela não se pronuncia sobre os referentes. Suas leis são utilizadas na construção de um modelo teórico e, esse sim, fornece previsões sobre eventos do mundo real, ou suposto como tal. Contudo, a escolha da teoria geral e a elaboração do modelo conceitual não são processos dissociados, de maneira que a estruturação do objeto-modelo passa pela escolha prévia da teoria geral (HEIDEMANN, 2015).

Dependendo do objetivo do problema e do grau de precisão desejado, novos referentes podem ser incluídos no modelo conceitual, tornando o modelo teórico cada vez mais complicado. No entanto, deve-se levar sempre em consideração o caráter representacional dos modelos, de forma que as discrepâncias entre as previsões dos

modelos e os resultados empíricos são inevitáveis. Para aumentar o grau de precisão do modelo da aceleração do avião, pode-se incluir, dentre outros referentes, o ar, com o objetivo de incorporar forças de atrito. Pela perspectiva da resolução de problemas, podemos dizer que diferentes idealizações levam a diferentes representações do problema, o que produz diferentes caminhos para a sua solução.

O mesmo modelo conceitual pode ser utilizado para representar diversos objetos do mundo real, bem como o mesmo referente pode ser representado por diferentes modelos conceituais. Como exemplo do primeiro caso, o modelo de partícula em movimento retilíneo uniformemente acelerado pode representar a decolagem de um avião, ou os primeiros segundos do movimento de um atleta em uma prova de velocidade do atletismo, ou o movimento de um automóvel em uma avenida, a partir da abertura do semáforo. Como exemplo do segundo caso, um avião pode ser considerado como uma partícula ou como um corpo extenso, dependendo dos objetivos, das idealizações impostas, do domínio de validade e do grau de precisão que se deseja.

Até esse estágio da resolução do problema nada foi dito a respeito das equações físicas a serem utilizadas no processo. As leis e princípios da física, juntamente com o ferramental matemático, serão implementados a partir da adoção de um modelo teórico, que representa, do ponto de vista da resolução de problemas, a terceira etapa do processo – implementação das estratégias de solução. Muitos dos procedimentos realizados até aqui não costumam ser oportunizados nos problemas fechados, uma vez que apresentam enunciados já idealizados.

O desenvolvimento do modelo conduzirá a uma possível resposta para o problema. Para isso, é necessário que o estudante avalie e implemente as equações e procedimentos matemáticos que envolvem o modelo teórico, de forma adequada, coerente com o caminho de solução adotado, atentando para a coerência das unidades de medida das grandezas físicas consideradas e avaliando a possibilidade de aproximações no modelo. As equações e conhecimentos específicos que envolvem o movimento de uma partícula com aceleração constante deverão ser construídos para que os alunos progridam na resolução do problema aberto em discussão. É possível, ainda, que o problema necessite de estimativas para determinadas grandezas físicas, como: massa do avião, comprimento da pista, tempo gasto no procedimento de decolagem, dentre outros.

A resolução propriamente dita do problema, ou seja, o desdobramento do modelo teórico pode estar sujeito à elaboração e teste de hipóteses, que, por sua vez, pode envolver operações empíricas. Questionamentos do tipo “De que forma e em que medida a intensidade da força resultante que as turbinas aplicam no avião, interfere em sua aceleração?”, “Em que medida a força de resistência do ar pode ser desprezada na descrição do movimento do avião até o início de sua decolagem?”, podem ser respondidos por meio de observações, medições e experimentos. Vídeos do processo

de decolagem de aviões comerciais podem ser úteis na observação e medição de grandezas físicas relevantes para processo de resolução, tais como as dimensões do avião e da pista. O processo de aquisição de dados e medição também pode ser realizado com o uso de experimentos virtuais, auxiliados por *softwares* como *Tracker*¹⁵ e *Modellus*¹⁶. Além disso, podem ser delineados experimentos, como por exemplo um arranjo experimental com blocos em movimento, puxados por forças aproximadamente constantes, com o objetivo de simular o movimento da aeronave e avaliar grandezas físicas de interesse. Pode ser analisado, por exemplo, o movimento de blocos em diferentes superfícies, como forma de avaliar a interferência da força de atrito entre o avião e o solo, bem como podem ser utilizados blocos de diferentes formatos, objetivando analisar a influência da força resistiva do ar no movimento do avião. Tais construções permitem avaliar hipóteses e possibilita que novos caminhos de solução sejam considerados.

O desenvolvimento do modelo teórico, portanto, conduz a um resultado ou resposta para o problema, que deverá ser avaliada quanto à sua razoabilidade, constituindo, do ponto de vista da resolução de problemas, o quarto estágio do processo: avaliação e monitoramento. A razoabilidade da resposta encontrada para o problema está relacionada com o grau de precisão desejado e com a plausibilidade em relação ao fenômeno do mundo real. Dependendo dessa análise, boa parte do processo pode ser retomado, a partir da realização de novas idealizações e da inclusão de novos referentes, o que modificaria o modelo conceitual, com objetivo de obter maior grau de precisão do modelo e expandir seu domínio de validade.

Cabe ao professor propor atividades que permitam avaliar em que medida as tarefas até então realizadas pelos estudantes fornecem apoio ao uso modelo teórico adotado. Ou seja, deve ser analisado até que ponto as atividades realizadas e os resultados obtidos auxiliam a chegar a uma resposta satisfatória. Serão necessárias novas investigações? Existem novos caminhos para resolver o problema? Essa técnica poderá conduzir os estudantes a um estágio de reflexão a respeito do limite em que esse modelo e sua resposta ainda correspondem ao que se pretendia analisar. No exemplo da aceleração do avião, pode ser fornecido aos estudantes um comparativo da aceleração de diferentes carros de passeio, por exemplo. Questionamentos como “A aceleração de um avião comercial é aproximadamente igual a aceleração de um carro popular? E de um superesportivo?”, podem auxiliar na análise da razoabilidade das respostas.

Em síntese, os resultados da análise teórica e/ou experimental podem: i) dar apoio ao uso modelo teórico adotado; ii) fornecer evidências contrárias a esse modelo;

¹⁵ Disponível em: <https://physlets.org/tracker/>. Acesso em: 03/10/2018.

¹⁶ Disponível em: <http://www.modellus.pt/index.php/en/download>. Acesso em: 03/10/2018.

iii) serem descartados, indicando a necessidade de outras operações conceituais ou experimentais.

Analisar a razoabilidade de um modelo exige processos metacognitivos, como a autorregulação, que permite aos estudantes tomarem consciência do transcorrer de suas atividades, de suas ações na tarefa, permitindo controlar e ajustar suas condutas (RIBEIRO, 2003). Os processos metacognitivos são requeridos em todos estágios da resolução do problema, desde a reflexão dos conhecimentos que precisam ser adquiridos para a execução da tarefa até o ajuste de caminhos de solução, análise da plausibilidade de uma resposta, novas possibilidades de solução, etc.

Além disso, os problemas abertos, por corresponderem a um evento do mundo real, por necessitarem de uma construção teórica e racional para a sua resolução, tendem a melhorar as crenças epistemológicas dos estudantes, possibilitando um melhor entendimento da relação entre teoria e realidade (OH & JONASSEN, 2007; OGILVIE, 2009; PIZZOLATO et al., 2014).

Por fim, destacamos que nossa construção teórica amplia o número de etapas de resolução de problemas abertos decorrente da revisão da literatura, acrescentando um quinto estágio: *exposição dos resultados e discussões finais*. Essa nova etapa se inspira no êxito obtido pela metodologia “Episódios de Modelagem” para o enfrentamento de atividades experimentais, via MDC+ (Heidemann, Araujo e Veit, 2018).

Tendo em vista que a exposição de um conceito ou de uma ideia pode contribuir com o desenvolvimento de estruturas argumentativas e solidificação de conhecimentos, o professor pode propor uma atividade de exposição dos resultados obtidos no processo de resolução do problema, na qual os estudantes compartilham com o grande grupo todos os procedimentos adotados e suas conclusões. Nesse tipo de atividade o professor deve assumir o papel de mediador das discussões, garantindo: i) que haja um ambiente colaborativo em sala de aula, de tal forma que os estudantes se sintam motivados e com liberdade de expressar suas ideias; ii) certa qualidade nas discussões, introduzindo questionamentos e termos técnicos a medida do necessário; iii) a promoção de debates explícitos a respeito do fazer científico, proporcionando que os alunos evoluam em suas crenças sobre Ciência (HEIDEMANN, ARAUJO & VEIT, 2016 b).

Tendo como referencial de aprendizagem a TCC de Vergnaud, essa quinta etapa pode auxiliar no desenvolvimento simultâneo dos conhecimentos predicativos e operatórios do estudante na ação de resolução de problemas. Vergnaud (2013) considera que os conhecimentos manifestados pelo sujeito são demonstrados tanto pelo que dizem (forma predicativa), de forma oral ou escrita, como pelo que fazem (forma operatória) em situação. Para Vergnaud (1996), “*um dos problemas do ensino é desenvolver ao mesmo tempo a forma operatória do conhecimento, isto é, o saber-fazer, e a forma predicativa do conhecimento, isto é, saber explicitar os objetos e suas*

propriedades” (p. 13). Os conhecimentos predicativos são aqueles em que o sujeito é capaz de explicar e justificar verbalmente, quando utilizados em determinada ação, enquanto os conhecimentos operatórios estão relacionados às competências que fundamentam as ações do sujeito.

Entendendo que reflexões teóricas e/ou experimentos científicos suscitem novas questões de pesquisa e evidenciam lacunas no conhecimento existente, o professor pode solicitar que os estudantes estabeleçam perspectivas para futuros estudos, indicando pelo menos uma nova questão de pesquisa que possa ser analisada como forma de expansão do modelo.

Por fim, o professor pode apresentar e discutir com os estudantes uma ou mais possibilidades para criação de diferentes modelos, conceituais e teóricos, além de avaliação empírica. Isso se justifica na medida em que a apresentação e discussão, por parte de um especialista, dos critérios e procedimentos assumidos na construção de um modelo teórico, tende a contribuir para o aprofundamento de conhecimentos e reflexão dos estudantes em relação às suas investigações.

6.4 Possibilidades de aplicação da ATR em atividades de resolução de problemas abertos

A partir da construção da ATR, um dos principais questionamentos que surge está relacionado à maneira como essa construção teórica ilumina o delineamento de abordagens de ensino que auxiliem os estudantes a desenvolverem competências associadas ao processo de resolução de problemas abertos em Física. Para responder esse questionamento, recordamos que a literatura não fornece uma metodologia para resolução de problemas abertos; até então, apresenta algumas tentativas de abordagens com atividades de resolução de problemas, indicando alguns tipos de tarefa e técnicas, com certo nível de eficiência para resolver problemas abertos, mas sem embasamento teórico, tanto em teorias de aprendizagem quanto epistemológicas.

Como forma de superar essa deficiência, construímos, neste trabalho, uma construção teórica (ATR) capaz de guiar o desenvolvimento de abordagens didáticas de resolução de problemas abertos. Objetivando ilustrar a forma como a Articulação Teórica de Referência apresentada no Quadro 6.2 pode orientar a construção de uma abordagem didática para resolução de problemas abertos em Física, apresentamos, no Apêndice E, dois exemplos de problemas abertos. É importante que algumas ressalvas sejam feitas a respeito da construção desses problemas. Inicialmente, salientamos que em um único problema não há a necessidade de trabalhar todas as etapas do processo de resolução. No primeiro exemplo, intitulado “Passando o sinal amarelo”, enfocamos apenas nos primeiros estágios da resolução de problemas da ATR.

Embora não seja necessário construir abordagens que envolvam todos os estágios do processo, é fundamental que alguns elementos essenciais da ATR estejam

presentes. O objetivo principal das abordagens com resolução de problemas abertos via modelagem didático-científica será favorecer a construção do conhecimento científico por parte dos estudantes, a partir de atividades que integrem conceitos presentes na ATR. As atividades didáticas deverão envolver, portanto, conhecimentos específicos de um dos campos conceituais da Física (e.g. conceitos introdutórios à Dinâmica) com conhecimentos do campo conceitual da modelagem didático-científica.

É fundamental que os estudantes, ao tomarem conhecimento do problema a ser resolvido, sintam-se estimulados a mobilizar esforços e conhecimentos para enfrentá-lo, encarando-o como um problema autêntico, com resultado possivelmente útil para sua vida cotidiana, acadêmica e profissional. Nesse sentido, é crucial que os problemas abertos sejam contextualizados, o que pode ser feito a partir de textos escritos, imagens e/ou vídeos. Outro aspecto importante é que os problemas abertos, de maneira geral, tendem a levar mais tempo para serem resolvidos pelos estudantes, do que os problemas/exercícios tradicionais. No entanto, embora demandem de mais tempo de sala de aula e de instrução, favorecem o desenvolvimento de uma aprendizagem mais profunda e significativa.

Destaca-se, também, que na instrução formal tradicional, os conhecimentos de um campo conceitual costumam ser ensinados a partir da fragmentação do conhecimento global em elementos menores, para que, progressiva e linearmente, sejam ensinados aos alunos. Espera-se que somente ao final do processo o estudante desenvolva uma compreensão global do campo conceitual estudado. Como consequência, as abordagens didáticas empregadas se caracterizam por começar por casos particulares, que cobrem uma pequena parte de algo mais amplo, que somente ao final de um tempo considerável o estudante terá condições de compreender. Entretanto, quando um conceito é trabalhado em sala de aula de maneira isolada, com situações que apresentam sentido restrito aos muros escolares, a tendência é que os estudantes não atribuam significado ao conceito, além de se desmotivarem.

Outra possibilidade de instrução formal dos conhecimentos de um campo conceitual consiste em construir com os estudantes a noção global do conhecimento em um nível mais superficial e gradativamente aprofundar o nível do conhecimento trabalhado. Na perspectiva da nossa Articulação Teórica de Referência, significa dizer que, em cada atividade didática de resolução de problemas abertos, mais de um conceito, tanto do campo conceitual da modelagem didático-científica quanto do campo específico da Física serão trabalhados. Por exemplo, sob o ponto de vista da modelagem, em todas as atividades, por mais simples e introdutórias que possam ser, os estudantes serão estimulados a construir uma representação simplificada da realidade, elaborando um modelo conceitual, a partir de idealizações, e chegarão a alguma solução preliminar do problema, a partir da adoção de um modelo teórico, que poderá vir a ser revisado e melhorado oportunamente. Dessa forma, mesmo nas atividades iniciais, em que naturalmente poucos conhecimentos costumam ser apresentados pelos

estudantes, uma visão muito superficial do processo completo de resolução de problemas via modelagem didático-científica deverá ser desenvolvida.

O argumento da abordagem global em resolução de problemas abertos é reforçado pela TCC de Vergnaud, a partir do pressuposto de que são as situações que dão sentido aos conceitos, e que diferentes aspectos de um mesmo conceito podem estar relacionados a diferentes situações. Um exemplo disso é a maneira como o conceito de *estimativa* é abordado no primeiro problema apresentado como exemplo no Apêndice E. Os estudantes são requisitados a fazerem estimativas de comprimento em diferentes situações e em diferentes níveis de dificuldade. A partir do momento em que os estudantes dão sentido à atividade de estimativa, adquirem experiência e um nível mais alto de expertise, podendo avançar no enfrentamento do problema. Isso não significa que outras atividades semelhantes, envolvendo outras situações, não venham a ser necessárias para sedimentar o conhecimento, até porque, como nos ensina Vergnaud, a aprendizagem de um campo conceitual é lenta, progressiva, e com avanços e retrocessos.

Simultaneamente, ancorados na TCC, uma situação não deve ser analisada com um só conceito, sendo necessário vários deles, o que resulta em uma visão integradora do conhecimento. Também ancorados na TCC, Carvalho Jr. e Aguiar Jr. (2008, p. 212) afirmam que “atividades didáticas que permitam uma visão generalizante do conhecimento podem contribuir para uma melhor apropriação do mesmo por parte dos estudantes”. Esses argumentos sustentam o entendimento de que não se deve focalizar um estudo em apenas um único conceito ou em situações isoladas; um estudo deve ser um pouco mais abrangente, envolvendo diferentes conceitos de um mesmo campo conceitual, ou até mesmo integrando conhecimentos de diferentes campos conceituais. Dessa forma, em Física, particularmente, mais de um conceito específico deverá ser trabalhado ao analisar uma situação-problema.

Uma característica marcante da resolução de problemas abertos a partir de nossa ATR é a utilização de abordagens de assistência à aprendizagem (abordagens *scaffolding*). Essas abordagens, como a resolução colaborativa de problemas e questões-estímulo, estão vinculadas às teorias socioconstrutivistas, e estão presentes em nossa proposta a partir de resultados de pesquisas identificados na revisão da literatura. Na seção 2.8 ficou evidenciado que, se os problemas propostos forem complexos, autênticos e abertos, é preciso que o professor forneça apoio instrucional, e as abordagens *scaffolding* são uma forma de direcionar os esforços do grupo, orientar os procedimentos a serem adotados e auxiliar no raciocínio, de maneira mais produtiva (JONASSEN, 1999; GE & LAND, 2003, 2004; GE & ER, 2005; STEWART et al., 2007; KAPUR, 2008).

Conforme já destacamos, o objetivo dessas abordagens é fornecer um conjunto de “ferramentas” e procedimentos de assistência à aprendizagem, com potencial para aprimorar em sala de aula o trabalho colaborativo, que possui um papel central nas

abordagens socioconstrutivistas de resolução de problemas, e promover atividades reflexivas, permitindo aos alunos controlar seu próprio processo de aprendizagem. Com base nesses argumentos, consideramos que as abordagens *scaffolding* podem auxiliar em todas as etapas do processo de resolução de problemas abertos, desde a análise do sistema físico, dos referentes, das simplificações adotadas para a construção do modelo conceitual, até a análise da razoabilidade dos resultados, do grau de precisão e do domínio de validade do modelo teórico adotado. Dessa forma, as abordagens de assistência à aprendizagem fazem parte, em diferentes níveis de aprofundamento, de uma ampla gama (se não em todas) das atividades de resolução de problemas abertos.

No segundo problema do Apêndice E, intitulado “Basquete”, consideramos o desenvolvimento de habilidades relacionadas às últimas etapas da ATR, a partir da avaliação da razoabilidade dos resultados encontrados, da possibilidade de expansão do modelo, por meio da inclusão de novos referentes e novas idealizações, e ainda o estímulo ao debate, em grande grupo, dos procedimentos adotados no processo e dos principais argumentos utilizados.

Uma vez alcançado os estágios finais da resolução do problema, no qual os estudantes fornecem uma (ou mais) possibilidade de resposta, fruto de reflexões teóricas e/ou atividades experimentais, é conveniente que sejam propostas atividades para avaliar em que medida as tarefas até então realizadas pelos estudantes fornecem apoio ao modelo teórico adotado. Serão necessárias novas investigações? Existem novos caminhos para resolver o problema? Essa técnica poderá conduzir os estudantes a um estágio de reflexão a respeito do limite em que se modelo e sua resposta ainda correspondem ao que se pretendia analisar. Em síntese, os resultados da análise teórica e/ou experimental podem: i) dar apoio ao modelo teórico adotado; ii) fornecer evidências contrárias a esse modelo; iii) serem descartados, indicando a necessidade de outras operações conceituais ou experimentais.

Considerando que a apresentação de uma ideia pode gerar um ambiente de debate, sedimentação e construção de conhecimento, é pertinente que sejam propostas atividades de exposição dos resultados obtidos no processo de resolução do problema, na qual os estudantes compartilham com o grande grupo os procedimentos adotados e suas conclusões.

Por fim, entendendo que reflexões teóricas e/ou experimentos científicos suscitam novas questões de pesquisa, e evidenciam lacunas no conhecimento existente, é interessante que os estudantes estabeleçam perspectivas para futuros estudos, indicando pelo menos uma nova questão de pesquisa que possa ser analisada como forma de expansão do modelo.

CAPÍTULO 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta pesquisa tivemos como principal objetivo ressignificar as atividades de resolução de problemas de Física, a partir da implementação de problemas abertos. Os problemas usualmente utilizados, que denominamos de problemas fechados (ou ainda exercícios de aplicação), embora desempenhem um papel importante na educação científica, não favorecem que estudantes de nível médio deem sentido aos conhecimentos trabalhados em sala de aula e compreendam a relação entre teoria e realidade. Já os problemas abertos, por retratarem eventos do mundo real, ou estarem associados a eles, possibilitam que os estudantes desenvolvam um conjunto de habilidades e conhecimentos mais amplo.

Frente ao nosso objetivo principal e de alguns argumentos favoráveis à implementação de atividades de resolução de problemas abertos no ensino de Física, realizamos uma revisão sistemática da literatura sobre o tema, como forma de aprofundar os conhecimentos sobre o assunto, identificando as principais características desses problemas e seu panorama de pesquisa e ensino nos últimos anos. Dentre os principais resultados dessa revisão, destacamos: i) o processo de resolução de problemas abertos pode ser descrito em etapas, cada uma delas requerendo um conjunto de habilidades e recursos cognitivos; ii) o enfrentamento de problemas abertos impõe algumas dificuldades aos estudantes no que diz respeito à análise inicial e representação do problema, na identificação de evidências, na construção de argumentos, na adequação de suas crenças relacionadas ao fazer científico e atitudes frente às atividades de resolução de problemas; iii) o processo de resolução de problemas abertos pode ser auxiliado por abordagens de assistência à aprendizagem, sendo as *questões-estímulo* e a *interação por pares* as estratégias mais utilizadas; iv) as abordagens com resolução de problemas abertos não adotam embasamento teórico em referenciais epistemológicos e de aprendizagem.

Buscando vivenciar em sala de aula atividades de resolução de problemas abertos em Física, como forma de adquirir maior familiarização com a proposta e aprofundar os conhecimentos a respeito desse tipo de problema, das dificuldades, atitudes e crenças dos estudantes em ação de resolução, delineamos um estudo qualitativo do tipo observação participante, que denominamos de Estudo Empírico. Tal estudo foi aplicado em uma turma composta por dez estudantes voluntários de dois cursos técnicos de nível médio do IFSul, no Campus Pelotas. A questão de pesquisa que orientou esse estudo foi: *Quais as principais dificuldades, atitudes e crenças de estudantes de nível médio no enfrentamento de atividades de resolução de problemas abertos em Física?*

Para responder à questão de pesquisa desse primeiro estudo, organizamos um módulo didático com cinco encontros, de 1h30min cada, para a realização de seis problemas abertos, em pequenos grupos. Foram utilizados quatro instrumentos para

avaliação dos dados obtidos: i) observações das notas de caderno de campo; ii) análise das vídeo-filmagens; iii) protocolo de avaliação; iv) entrevista individual. A entrevista, realizada no último encontro, foi planejada com o objetivo de obter as percepções dos estudantes em relação à mudança das atividades de resolução de problemas, de fechados para abertos, além de avaliar o desempenho individual no enfrentamento de mais um problema aberto de Física. Os dados da entrevista foram analisados segundo as orientações de Yin (2016), percorrendo as etapas de compilação, decomposição, recomposição, interpretação e conclusão.

Os principais resultados obtidos no Estudo Empírico podem ser resumidos em: i) os estudantes apresentaram dificuldades já na primeira etapa de solução do problema, em especial na representação do problema e realização de estimativas das grandezas físicas; ii) o baixo conhecimento conceitual dos alunos dificultou, em grande medida, que tivessem uma melhor performance nas atividades; iii) o comportamento dos estudantes diante dos problemas abertos foi semelhante ao que costumam ter frente aos problemas fechados, no qual predomina a busca por equações que melhor se encaixem aos dados do problema, em processos de tentativa e erro. De maneira geral, os estudantes não foram capazes de mobilizar os conhecimentos, atitudes e crenças necessárias à resolução de problemas abertos em Física, de forma semelhante ao que constatamos na literatura.

Os resultados do Estudo Empírico indicaram que, para auxiliar os estudantes a progredirem no enfrentamento dos problemas abertos e a construírem os requisitos cognitivos e os conhecimentos necessários, precisávamos, do ponto de vista teórico, encontrar um novo caminho, uma nova abordagem. Da literatura, identificamos duas ideias centrais: i) o processo de resolução de problemas abertos deve ser proposto sob a perspectiva construtivista; ii) os conhecimentos a serem construídos devem ser colocados em primeiro plano. Elegemos, então, a Modelagem Didático-Científica como uma abordagem conceitual capaz de reunir esses elementos necessários para auxiliar os estudantes a progredirem no processo de resolução de problemas abertos de Física.

A partir da adoção do referencial da modelagem didático-científica, que consiste em uma articulação teórica entre a teoria de aprendizagem dos campos conceituais, de Vergnaud, e a visão de Bunge sobre modelagem científica, passamos a encarar a resolução de problemas abertos em Física como um processo de modelagem. Essa ideia, no entanto, não é completamente inovadora. Da nossa revisão da literatura, identificamos os trabalhos de Niss (2012; 2017), que defende que resolver problemas abertos de Física requer a execução de ações características da modelagem. Entretanto, além dos trabalhos de Niss não apresentarem embasamento em teorias de aprendizagem e referencial epistemológico, aparentando não ter como principal preocupação a forma como os alunos aprendem e a construção dos conhecimentos físicos, o foco de seus trabalhos está na construção do modelo matemático do problema. De forma semelhante ao que é proposto por Niss (*ibid.*), Bassanezi (2012),

um trabalho de amplo reconhecimento no cenário nacional, também utiliza a modelagem matemática para resolver eventos relacionados a física.

No entanto, argumentamos que a modelagem matemática, quando utilizada para resolver problemas relacionados com a Física, ocupa-se da construção de conhecimentos associados aos procedimentos matemáticos, no qual os conceitos da Física são meramente transferidos para a linguagem matemática mais adequada para resolver o problema, cuja solução independe de certo rigor nas definições e utilização dos conceitos físicos. Discutimos que a modelagem matemática e a modelagem física possuem objetivos de naturezas distintas; enquanto a modelagem matemática concentra sua atenção na resolução de problemas a partir da solução de equações matemáticas que descrevem o sistema, a modelagem física tem como objetivos principais compreender os eventos físicos e construir conhecimentos vinculados aos campos conceituais da Física e da modelagem envolvidos no problema.

Do ponto de vista de Vergnaud, são as situações que fornecem sentido aos conceitos estudados. Nessa perspectiva, a modelagem matemática não estuda um conceito de forma adequada, tendo em vista que um conceito é trabalhado do ponto de vista das equações e procedimentos matemáticos. Já do ponto de vista da modelagem científica, o estudo de um conceito ocorre com ênfase na análise das diferentes situações que dão sentido a esse conceito, e levando em conta que, à luz da Teoria de Vergnaud, um conceito é uma tríade formada pelo conjunto de situações que dão sentido ao conceito (referentes), o conjunto dos invariantes em que se baseia a operacionalidade dos esquemas (significado) e o conjunto de representações simbólicas que permitem representar simbolicamente o problema (significante).

A principal implicação didática da modelagem científica está nas situações que costumam ser trabalhadas em sala de aula. “Os esquemas de pensamento que os estudantes costumam evocar no contexto da sala de aula dependem fortemente das situações e do modo como os professores de Ciências costumam abordá-las” (BRANDÃO, ARAUJO & VEIT, 2011, p. 531). Tradicionalmente, os enunciados dos problemas apresentados pelos professores são demasiadamente idealizados e costumam se limitar à manipulação de expressões matemáticas. Esses problemas, na perspectiva de Vergnaud, exigem um conjunto de esquemas que têm sentido estrito aos muros escolares (HEIDEMANN, 2015).

Provocar mudanças nesse paradigma passa por promover atividades que estabeleçam conexões entre o contexto de mundo dos estudantes e os construtos da Física, estimulando a conceitualização do real e a construção de concepções científicas, ao invés de concepções alternativas. Para Brandão (2012), a modelagem científica pode ser entendida como uma estratégia teórico-metodológica capaz de auxiliar a ação dos estudantes em situações que ele necessita, em algum grau, aproximar teoria e realidade. O autor considera que o campo conceitual da modelagem didático-científica em Física pode ser entendido como um conjunto de atividades didáticas, que podem ser

abreviadas em classes de situações favoráveis a dar sentido aos conceitos da Estrutura Conceitual de Referência que se pretende introduzir. Tais atividades podem ser:

[...] atividades de modelagem computacional, enfatizando o papel mediador dos modelos entre teoria e simulação; atividades de modelagem em laboratório de ensino, enfatizando o papel mediador dos modelos entre teoria e experimento; e atividades de modelagem computacional-experimental, enfatizando o papel mediador dos modelos entre simulação e experimento acerca de sistemas, processos e fenômenos físicos (ibid., p. 88).

Este trabalho ampliou esse conjunto de atividades, argumentando a favor das atividades de resolução de problemas abertos, do tipo lápis e papel, enfatizando o papel mediador dos modelos entre teoria e situações do mundo real (ou histórias consistentes com eventos da realidade).

Nossa proposta, portanto, é de enfrentar os problemas abertos em Física como um processo de modelagem, mas sob o ponto de vista da modelagem científica, em uma abordagem construtivista, mantendo em primeiro plano a construção dos conhecimentos de física e de modelagem. Para isso, construímos uma Articulação Teórica de Referência (ATR) entre os elementos essenciais do processo de resolução de problemas abertos e o referencial teórico-metodológico da Modelagem Didático-Científica, como forma de responder à seguinte questão de pesquisa:

“De que forma os conhecimentos específicos e gerais do campo conceitual da modelagem didático-científica (MDC+) e dos campos conceituais específicos da Física podem ser integrados, em uma abordagem construtivista de ensino, de modo a auxiliar estudantes de Ensino Médio a progredirem na resolução de problemas abertos em Física?”.

Tal articulação integrou as etapas e os principais fundamentos do processo de resolução de problemas abertos, com alguns dos elementos principais da modelagem científica, na acepção de Heidemann, Araujo e Veit (2016a; 2018), permitindo, a partir de então, enxergar as atividades didáticas de problemas abertos em Física como atividades de construção, exploração, uso e validação de modelos. Resultado dessa articulação, passamos a considerar cinco etapas para o processo de resolução de problemas abertos: 1. Definição e representação do problema; 2. Avaliação de planos e estratégias de solução; 3. Implementação das estratégias; 4. Avaliação e monitoramento do processo; 5. Exposição dos resultados e discussões finais.

Por meio de dois exemplos de problemas abertos em Física buscamos expressar o potencial da ATR desenvolvida no que diz respeito à superação das dificuldades identificadas na literatura, e corroboradas pelo nosso Estudo Empírico, construção dos conhecimentos científicos e metacognitivos necessários para a realização da tarefa, desenvolvimento de melhores crenças e habilidades atitudinais apropriadas ao enfrentamento de problemas abertos. Destacamos, ainda, que a partir da ATR

expandimos o número de etapas de resolução de problemas abertos, passando a incluir a etapa de “exposição dos resultados e discussões”, como forma de favorecer e potencializar a aprendizagem colaborativa, o aprimoramento e desenvolvimento de processos metacognitivos, e a solidificação e construção de conhecimentos envolvidos no processo. Nesse sentido, a ATR que construímos tem como pressuposto a resolução colaborativa de problemas, resultado das abordagens socioconstrutivistas de ensino.

Em nossa construção teórica, levamos em consideração as abordagens de assistência à aprendizagem (*scaffolding*), que apresentam grande potencial para contribuir significativamente com o processo de resolução de problemas abertos. O apoio instrucional fornecido por essas abordagens favorece o enfrentamento de todas as etapas de solução dos problemas abertos, auxiliando no desenvolvimento de conhecimentos conceituais, metacognitivos e procedimentais (GE & LAND, 2003; BELLAND, GLAZEWSKI & RICHARDSON, 2008), além de contribuir para a construção de um conjunto de habilidades necessárias para a realização adequada da tarefa, tal como a habilidade de argumentação e escolha do melhor caminho de solução (OH & JONASSEN, 2007; NG, CHEUNG & HEW, 2010).

Das abordagens de assistência à aprendizagem, destacam-se, em especial, pela eficiência que costumam gerar, as *questões-estímulo* e as *interações por pares*. Das questões-estímulo é importante salientar que resultados de pesquisa indicam que solicitar que os estudantes respondam às questões fornecidas é ainda mais eficiente do que deixar para os estudantes decidirem se irão respondê-las ou apenas utilizá-las como guia para o processo de solução (GE, CHEN & DAVIS, 2005). Das interações por pares, salientamos o grande potencial em desenvolver uma série de habilidades sociais e cognitivas, estimulando os estudantes a externalizar suas próprias ideias e avaliar criticamente as contribuições dos colegas.

Como sequência natural para este trabalho, podemos considerar o desenvolvimento, implementação e avaliação de um módulo de ensino utilizando atividades de resolução de problemas abertos, construídas a partir da base conceitual da Articulação Teórica de Referência que desenvolvemos. Conforme já exposto, acreditamos que a ATR promove melhores desempenhos, atitudes e crenças dos estudantes em resolução de problemas abertos de Física, além de favorecer o desenvolvimento mais profundo dos conhecimentos necessários à realização da tarefa. Estudos relacionados a resolução de problemas abertos, quando são realizados, ocorrem em ambiente não-natural. Este trabalho pode avançar na medida em que implementa atividades de resolução de problemas abertos, via ATR, em ambientes naturais de ensino/aprendizagem.

Futuramente, pesquisas poderão ser realizadas no sentido de desenvolver princípios orientadores para a construção de atividades didáticas de resolução de problemas abertos em Física. Mesmo não sendo o foco deste trabalho, professores interessados em implementar problemas abertos em suas ações didáticas poderão

inferir alguns princípios orientadores para a construção de atividades com esse tipo de problemas. Dentre esses princípios, destacamos: i) visão global do conhecimento, em que consideramos, tendo como referência a TCC de Vergnaud, que as situações que dão sentido aos conceitos e que, simultaneamente, uma mesma situação não deve ser analisada com um só conceito. Tendo isso em mente, o estudo de uma situação-problema deverá ser mais abrangente, envolvendo mais de um conceito do campo conceitual específico da física e do campo conceitual da modelagem didático-científica; ii) explicitação dos processos para construção do modelo, de maneira tal que as atividades didáticas a serem construídas deverão estimular que os estudantes explicitem suas tomadas de decisão, seus argumentos e procedimentos adotados na construção dos modelos teórico e conceitual; iii) as abordagens de assistência à aprendizagem deverão ser utilizadas no processo de resolução dos problemas abertos, devido ao seu grande potencial em orientar procedimentos, direcionar esforços e auxiliar no raciocínio dos estudantes.

Embora não tenham feito parte deste estudo, reconhecemos que além de um bom nível de conhecimentos específicos, gerais e metacognitivos, outros elementos também podem interferir positivamente no desempenho exitoso em resolução de problemas abertos em Física, como é o caso da dimensão afetiva (JONASSEN, 1997; DEBELLIS & GOLDIN, 2006; FERREIRA & CUSTÓDIO, 2013; PEREIRA & ABIB, 2016). A dimensão afetiva pode ser entendida como a “capacidade que os indivíduos têm de serem positiva ou negativamente afetados, com mais ou menos intensidade, por uma dada situação, de forma que cada um deles estabelece um tipo de relação afetiva com essa situação e lhe atribui um sentido particular” (PEREIRA & ABIB, 2016, p. 110). Naturalmente, cada sujeito lida de forma bastante diferente a determinadas situações, sejam elas cotidianas, pessoais ou acadêmicas, o que pode interferir no desempenho e atitudes em relação à resolução de problemas abertos.

A dimensão afetiva, segundo DeBellis e Goldin (2006), pode ser subdividida em quatro domínios: 1. Crenças, que envolvem algum tipo de verdade ou validade externa a determinados sistemas de proposições. Um exemplo disso são as crenças de autoeficácia; 2. Atitudes, que descrevem orientações ou predisposições para um conjunto de sentimentos emocionais em contextos específicos; 3. Emoções, que consistem em rápidas alterações no estado de sentimento vivenciados, podendo ocorrer de forma consciente ou inconsciente, e; 4. Valores/moral/ética, que consistem nas “verdades pessoais” ou compromissos dos sujeitos, e são sensivelmente responsáveis pelas escolhas de longo prazo e prioridades mais imediatas. Uma extensão deste trabalho pode ocorrer a partir da investigação da forma e intensidade como a ATR que construímos poderá interferir na dimensão afetiva de estudantes em resolução de problemas abertos de Física.

Tendo em vista a relevância atribuída por muitos autores à argumentação no ensino de Ciências (e.g. SASSERON, 2015), outra possibilidade de expansão deste

trabalha se dá por meio de pesquisas que busquem analisar as contribuições de atividades de resolução de problemas abertos, via ATR, no desenvolvimento de padrões argumentativos dos estudantes.

É consensual que o tema que trabalhamos nesta pesquisa – Resolução de Problemas – é extremamente amplo no contexto do ensino de Ciências, mas, em virtude de sua relevância para o ensino, ainda motiva muitas investigações e construção de conhecimentos a respeito. Nesta pesquisa, nossa principal contribuição de conhecimento reside na construção de uma articulação teórica entre os principais elementos do processo de resolução de problemas abertos e a Modelagem Didático-Científica, que, pelas razões já expostas, integra um conjunto de elementos capazes de auxiliar os estudantes de nível médio a desenvolverem habilidades e a construir conhecimentos necessários para progredirem em resolução de problemas abertos em Física.

Tendo isso em vista, acreditamos ter alcançado o principal objetivo deste trabalho: desenvolvemos um caminho teórico para ressignificar as atividades de resolução de problemas no ensino de Física de nível médio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULLAH, H. Problem solving of Newton's second law through a system of total mass motion. **Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching**, v. 15, n. 2, p. 1–9, 2014.

ANN RENNINGER, K.; RAY, L. S.; LUFT, I.; NEWTON, E. L. Coding online content-informed scaffolding of mathematical thinking. **New Ideas in Psychology**, v. 23, n. 3, p. 152–165, 2005.

ANTONENKO, P.; JAHANZAD, F.; GREENWOOD, C. Fostering collaborative problem solving and 21st century skills using the DEEPER scaffolding framework. **Journal of College Science Teaching**, v. 43, n. 6, p. 78–88, 2014.

ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A.; MOREIRA, M. A. Uma revisão da literatura sobre estudos relativos a tecnologias computacionais no Ensino de Física. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 4, n. 3, p. 5–18, 2004.

ASOREY, H.; LÓPEZ, A.; ANDREA, D. Potencia de la erupción del volcán Puyehue como un problema de Fermi. **Revista Enseñanza de la Física**, v. 24, n. 2, p. 49–54, 2011.

AZEVEDO, M. C. P. S. Ensino por Investigação: Problematizando as atividades em sala de aula. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). **Ensino de Ciências: unindo a pesquisa e a prática**. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

BARKOVICH, M.; CARREÑO, A. Un modelo para la distribución de semáforos en una calle como problema integrador en los cursos introductorios de las carreras de Ingeniería. **Latin American Journal of Physics Education**, v. 7, n. 1, p. 63–67, 2013.

BARNIOL, P.; ZAVALA, G. Students' difficulties in problems that involve unit-vector notation. **Latin American Journal of Physics Education**, v. 8, n. 4, p. 4403, 2014.

BASIR, M. A.; ALINAGHIZADEH, M. R. A suggestion for improving students' abilities to deal with daily real-life problems. **Physics Education**, v. 43, n. 4, p. 407–411, 2008.

BELLAND, B. R.; GLAZEWSKI, K. D.; RICHARDSON, J.C. A scaffolding framework to support the construction of evidence-based arguments among middle school students. **Educational Technology Research and Development**, v. 56, n. 4, p. 401–422, 2008.

BELLUCCO, A.; CARVALHO, A. M. P. Uma proposta de sequência de ensino investigativa sobre quantidade de movimento, sua conservação e as leis de Newton. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 31, n. 1, p. 30 – 59, 2014.

BLANCO-ANAYA, P.; JUSTI, R.; DÍAZ DE BUSTAMANTE, J. Challenges and opportunities in analysing students modelling. **International Journal of Science Education**, v. 39, n. 3, p. 377–402, 2017.

BRANDÃO, R. V. **A estratégia da modelagem didático-científica reflexiva para a conceitualização do real no Ensino de Física**. 2012. 230 f. Tese (Doutorado em Ensino de Física) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BRANDÃO, R. V.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Concepções e dificuldades dos professores de física no campo conceitual da modelagem científica. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 9, n. 3, p. 669–695, 2010.

_____. A modelagem científica vista como um campo conceitual. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 507–545, 2011.

_____. Um estudo de caso para dar sentido à tese de que a modelagem científica pode ser vista como um campo conceitual. p. 1–21, 2014.

_____. A estratégia da Modelagem Didático Científica para a conceitualização do real no Ensino de Física: um estudo de caso com professores do Ensino Médio. Aceito para publicação em Alexandria, 2018.

BRASIL. **PCNEM+: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. 144 f. Brasília: Ministério da Educação, 2002.

BRASIL. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**, v. 2, 135 p. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2006.

BRAVO, B. M.; PESA, M. A. Concepciones de alumnos (14 - 15 años) de educación general básica sobre la naturaleza y percepción del color. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 3, p. 337–362, 2005.

BROWN, T.; BROWN, K. Rocket Mail : Using Historic Articles as Case Studies in Physics and Engineering. **Journal of College Science Teaching**, v. 44, n. 2, p. 64–70, 2014.

BRYAN, J. Video Analysis Software and the Investigation of the Conservation of Mechanical Energy. **Contemporary Issues in Technology and Teacher Education**, v. 4, n. 3, p. 284–298, 2004.

BULU, S. T.; PEDERSEN, S. Scaffolding middle school students' content knowledge and ill-structured problem solving in a problem-based hypermedia learning environment. **Educational Technology Research and Development**, v. 58, n. 5, p. 507–529, 2010.

BUNGE, M. **Teoria e Realidade**. São Paulo: Editora Perspectiva, 1974.

_____. **La investigación científica: Su estrategia y su filosofía**. Barcelona: Editora Ariel, 1989.

_____. **Caçando a realidade: a luta pelo realismo**. São Paulo: Editora Perspectiva, 2010.

CAMARGO, E. P.; SILVA, D. O ensino de física no contexto da deficiência visual: análise de uma atividade estruturada sobre um evento sonoro - posição de encontro de dois móveis. **Ciência & Educação**, v. 12, n. 2, p. 155–169, 2006.

CAMPOS, B. S; FERNANDES, S. A.; RAGNI, A. C. P. B; SOUZA, N. F. Física para crianças :

abordando conceitos físicos a partir de situações-problema. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 1, p. 1402, 2012.

CARVALHO JR., G. D.; AGUIAR JR., O. Os campos conceituais de Vergnaud como ferramenta para o planejamento didático. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 25, n. 2, p. 207–227, 2008.

CHANG, S.; CHIU, M. The development of authentic assessments to investigate ninth graders' scientific literacy: in the case of scientific cognition concerning the concepts of chemistry and physics. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v. 3, n. 1, p. 117 – 140, 2005.

CHANG, S. H.; WU, T. C.; KUO, Y. K.; YOU, L. C. Project-based learning with an online peer assessment system in a photonics instruction for enhancing led design skills. **Turkish Online Journal of Educational Technology**, v. 11, n. 4, p. 236 – 246, 2012.

CHEN, C. H.; BRADSHAW, A. C. The effect of web-based question prompts on scaffolding knowledge integration and ill-structured problem solving. **Journal of Research on Technology in Education**, v. 39, n. 4, p. 359 – 375, 2007.

CHITTASIRINUWAT, O.; KRUAATONG, T.; PAOSAWATYANYONG, B. College Students' Intuitive Understanding and Problem-Solving of Energy and Momentum. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PHYSICS EDUCATION, 2010.

CLEMENT, L.; TERRAZZAN, E. Atividades Didáticas de Resolução de Problemas eo Ensino de Conteúdos Procedimentais. **Revista electrónica de investigación en educación en ciencias**, v. 6, n. 1, p. 87 – 101, 2011.

_____. Resolução de problemas de lápis e papel numa abordagem investigativa. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 7, n. 2, p. 98–116, 2012.

COSTA, S. S. C. **Modelos Mentais e Resolução de Problemas em Física**. 2005. 248 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

DEBELLIS, V. A.; GOLDIN, G. A. Affect and meta-affect in mathematical problem solving: A representational perspective. **Educational Studies in Mathematics**, v. 63, n. 2, p. 131 – 147, 2006.

DIAKIDOY, I. A. N.; CONSTANTINOY, C. P. Creativity in Physics: Response Fluency and Task Specificity. **Creativity Research Journal**, v. 13, n. 3–4, p. 401 – 410, 2001.

DING, L.; REAY, N.; LEE, A.; BAO, L.; SABELLA, M.; HENDERSON, C.; SINGH, C. Using Conceptual Scaffolding to Foster Effective Problem Solving. **Creativity Research Journal**, v. 129, n. 2009, p. 129 – 132, 2009.

DIOS, A. Q.; ENCINAS, A. H.; VAQUERO, J. M.; REY, A. M.; PÉREZ, J. J. B.; SÁNCHEZ, G. R. How Engineers Deal with Mathematics Solving Differential Equation. **Procedia Computer Science**, v. 51, p. 1977 – 1985, 2015.

DONDLINGER, M. J.; MCLEOD, J. K. Solving Real World Problems With Alternate Reality Gaming: Student Experiences in the Global Village Playground Capstone Course Design. **Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning**, v. 9, n. 2, p. 1 – 9, 2015.

EFTHIMIOU, C. J.; LLEWELLYN, R. A. Cinema, Fermi problems and general education. **Physics Education**, v. 42, n. 3, p. 253 – 261, 2007.

ENGHAG, M.; GUSTAFSSON, P.; JONSSON, G. From everyday life experiences to physics understanding occurring in small group work with context rich problems during introductory physics work at University. **Research in Science Education**, v. 37, n. 4, p. 449 – 467, 2007.

_____. Talking physics during small-group work with context-rich problems-analysed from an ownership perspective. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v. 37, n. 4, p. 455 – 472, 2009.

ERCEG, N.; AVIANI, I.; MEŠIĆ, V. Probing students' critical thinking processes by presenting ill-defined physics problems. **Revista Mexicana de Física E**, v. 59, n. 1, p. 65 – 76, 2013.

ESERYEL, D.; IFENTHALER, D.; GE, X. Validation study of a method for assessing complex ill-structured problem solving by using causal representations. **Educational Technology Research and Development**, v. 61, n. 3, p. 443–463, 2013.

FERREIRA, G. K.; CUSTÓDIO, J. F. Influência do domínio afetivo em atividades de resolução de problemas de física no ensino médio. **Latin American Journal of Physics Education**, v. 7, n. 3, p. 364–377, 2013.

FORTUS, D. The importance of learning to make assumptions. **Science Education**, v. 93, n. 1, p. 86–108, 2009.

GE, X.; CHEN, C. H.; DAVIS, K. Scaffolding Novice Instructional Designers' Problem-Solving Processes Using Question Prompts in a Web-Based Learning Environment. **Journal of Educational Computing Research**, v. 33, n. 2, p. 219 – 248, 2005.

GE, X.; ER, N. An online support system to scaffold real-world problem solving. **Interactive Learning Environments**, v. 13, n. 3, p. 139 – 157, 2005.

GE, X.; LAND, S. M. Scaffolding students' problem-solving processes in an ill-structured task using question prompts and peer interactions. **Educational Technology Research and Development**, v. 51, n. 1, p. 21 - 38, 2003.

_____. A conceptual framework for scaffolding Ill-structured problem-solving processes using question prompts and peer interactions. **Educational Technology Research and Development**, v. 52, n. 2, p. 5–22, 2004.

GE, X.; PLANAS, L. G.; ER, N. A Cognitive Support System to Scaffold Students' Problem-based Learning in a Web-based Learning Environment. **Interdisciplinary journal of problem-based learning**, v. 4, n. 1, p. 2–13, 2010.

GIL PÉREZ, D. **Enseñanza de las ciencias y la matemática: tendencias e innovaciones**. Editora Popular, Madrid, 1993.

GIL PÉREZ, D.; DUMAS, C. A.; CAILLOT, M.; MARTÍNEZ TERREGROSA, J.; RAMÍREZ CASTRO, L. La resolución de problemas de lápiz y papel como actividad de investigación. **Investigación en la Escuela**, [s. l.], v. 6, p. 3–20, 1988.

GIL PÉREZ, D.; MARTÍNEZ TERREGROSA, J.; RAMÍREZ, L.; CARRÉE, A. D.; GOFARD, M.; CARVALHO, A. M. P. Questionando a didática de resolução de problemas: elaboração de um modelo alternativo. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 9, n. 1, p. 7 – 19, 1992.

GILBERT, J. K.; JUSTI, R. Introducing Modelling into School Science. In: YEO, J.; TEO, T. W.; TANG, K. S. (Eds). **Science Education Research and Practice in Asia-Pacific and Beyond**. Springer, Singapore, p. 25–38, 2018.

GOMES, A. D. T.; BORGES, A. T.; JUSTI, R. Processos e conhecimentos envolvidos na realização de atividades práticas: revisão da literatura e implicações para a pesquisa. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 13, n. 2, p. 187 – 207, 2008.

GOMES DE SOUSA, C. M. S.; MOREIRA, M. A.; MATHEUS, T. A. M. A resolução de situações-problema experimentais no campo conceitual do Eletromagnetismo: uma tentativa de identificação de conhecimentos-em-ação. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 5, n. 3, p. 61 – 72, 2005.

GOTT, R.; DUGGAN, S. **Investigative Work in the Science Curriculum**. Buckingham: Open University Press, 1995, 146 p.

GREEN, G. P.; BEAN, J. C.; PETERSON, D. J. Deep Learning in Intermediate Microeconomics: Using Scaffolding Assignments to Teach Theory and Promote Transfer. **Journal of Economic Education**, v. 44, n. 2, p. 142–157, 2013.

GREEN, G. P.; JONES, S.; BEAN, J. C. Teaching Real-World Applications of Business Statistics Using Communication to Scaffold Learning. **Business and Professional Communication Quarterly**, v. 78, n. 3, p. 314 – 335, 2015.

GREENLER, R. Solving a problem by using what you know: a physicist looks at a problem in ecology. **Physics Education**, v. 50, n. 5, p. 529 – 537, 2015.

HALLOUN, I. A. **Modelling Theory in Science Education**, Kluwer Academic Publishers, 2004).

HEIDEMANN, L. A. **Ressignificação das atividades experimentais no ensino de física por meio do enfoque no processo de modelagem científica**. 2015. 298 f. Tese (Doutorado em Ensino de Física) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

HEIDEMANN, L. A.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Modelagem didático-científica: integrando atividades experimentais e o processo de modelagem científica no ensino de Física.

Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 33, n. 1, p. 3 – 32, 2016 a.

_____. Atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica: uma alternativa para a ressignificação das aulas de laboratório em cursos de graduação em física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 38, n. 1, p. 1504, 2016 b.

_____. A Integração de Atividades Teóricas e Experimentais no Ensino de Física através de Ciclos de Modelagem : Um Estudo de Caso Exploratório no Ensino Superior. **Alexandria**, v. 9, n. 1, p. 151 – 178, 2016 c.

_____. Dificuldades E Avanços No Domínio Do Campo Conceitual Da Modelagem Didático-Científica: Um Estudo De Caso Em Uma Disciplina De Física Experimental. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 23, n. 2, p. 352, 2018.

HELLER, P.; KEITH, R.; SCOTT, A. Teaching problem solving through cooperative grouping (Part 1): Group Versus Individual Problem Solving. **American Journal of Physics**, v. 60, n. 7, p. 627 – 636, 1992.

HENNING, P. H. Everyday cognition and situated learning. In: (SPECTOR, J.M.; MERRILL, M. D.; ELEN, J. & BISHOP, J. (Eds.). **Handbook of research on educational communications and technology**. New York, NY: Springer, p. 143-168, 2004.

HESTENES, D. Modeling software for learning and doing physics. In: BERNARDINI, C.; TARSITANI, C.; VICENTINI, M. **Thinking physics for teaching**. Springer, Boston, MA, 1995. p. 25-65.

HOEK, D. J.; SEEGER, G. Effects of instruction on verbal interactions during collaborative problem solving. **Learning Environments Research**, v. 8, n. 1, p. 19 – 39, 2005.

HUNSCHE, S.; AULER, D. O professor no processo de construção de currículos : desafios no estágio curricular supervisionado em ensino de física. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 11, n. 1, p. 1 – 20, 2012.

IBADOV, S. Some real problems in the physics of comets'. **Astronomical and Astrophysical Transactions**, v. 18, n. 6, p. 799 – 806, 2000.

JONASSEN, D. O uso das novas tecnologias na educação a distância e a aprendizagem construtivista. **Em Aberto**, v. 16, n. 70, p. 70 – 88, 1996.

_____. Instructional Design Models for Well-Structured and Ill-Structured Problem-Solving Learning Outcomes. **Educational Technology Research and Development**, v. 45, n. 1, p. 65 – 94, 1997.

_____. Designing constructivist learning environments. **Instructional design theories and models: A new paradigm of instructional theory**, v. 2, p. 215 - 239, 1999.

_____. Using Cognitive Tools to Represent Problems. **Journal of Research on Technology in Education**, v. 35, n. 3, p. 362 – 381, 2003.

_____. **Learning to Solve Problems: an instructional design guide.** Jossey-Bass, San Francisco, CA, 2004.

_____. **Learning to Solve Problems: a handbook for designing problem-solving learning.** New York: Routledge, 2010.

KAPUR, M. Productive failure. **Cognition and Instruction**, v. 26, p. 379–424, 2008.

KAPUR, M.; KINZER, C. K. Examining the effect of problem type in a synchronous computer-supported collaborative learning (CSCL) environment. **Educational Technology Research and Development**, v. 55, n. 5, p. 439 – 459, 2007.

KAPUR, M.; VOIKLIS, J.; KINZER, C. K. Sensitivities to early exchange in synchronous computer-supported collaborative learning (CSCL) groups. **Computers and Education**, v. 51, n. 1, p. 54 – 66, 2008.

KIM, H. J.; PEDERSEN, S. Advancing young adolescents' hypothesis-development performance in a computer-supported and problem-based learning environment. **Computers and Education**, v. 57, n. 2, p. 1780 – 1789, 2011.

KRULIK, S.; REYS, R. E. **Problem Solving in School Mathematics.** National Council of Teachers of Mathematics 1980 Yearbook. 1980.

KUMAR, M.; KOGUT, G. Students' perceptions of problem-based learning. **Teacher Development**, v. 10, n. 1, p. 105 – 116, 2006.

LABURÚ, C. E. Problemas abertos e seus problemas no laboratório de Física: uma alternativa a dialética que passa pelo discursivo multivoval e univoval. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 8, n. 3, p. 231 – 256, 2003.

LEE, J.; SPECTOR, J. M. Effects of model-centered instruction on effectiveness, efficiency, and engagement with ill-structured problem solving. **Instructional Science**, v. 40, n. 3, p. 537 - 557, 2012.

LINDER B. M. Understanding Estimation and its Relation to Engineering Education. 1999. 87f. Tese (Doctor of Philosophy in Mechanical Engineering) - Massachusetts Institute of Technology.

LONGHINI, M. D.; MENEZES, L. D. D. Objeto virtual de aprendizagem no Ensino de Astronomia: Algumas situações-problema propostas a partir do software Stellarium. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. 3, p. 433 – 448, 2010.

LONGHINI, M. D.; NARDI, R. Como Age a Pressão Atmosférica? Algumas Situações-Problema tendo como base a História da Ciência e Pesquisas na área. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 26, n. 1, p. 7 – 23, 2009.

LÓPEZ, S.; VEIT, E. A.; ARAUJO, I. S. Una revisión de literatura sobre el uso de modelación y simulación computacional para la enseñanza de la física en la educación básica y media. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 38, n. 2, p. 2401(1) - 2401(16), 2016.

MASON, A.; SINGH, C. Surveying graduate students' attitudes and approaches to problem solving. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, v. 6, n. 2, p. 1 – 16, 2010.

MEOLI, J. J.; MARTÍNEZ, D. E.; CONCARI, S. B. Intervenciones transversales basadas en situaciones problemas. **Latin American Journal of Physics Education**, v. 8, n. 3, p. 469 – 474, 2014.

NG, C. S. L.; CHEUNG, W. S.; HEW, K. F. Solving ill-structured problems in asynchronous online discussions: built-in scaffolds vs. no scaffolds. **Interactive Learning Environments**, v. 18, n. 2, p. 115 – 134, 2010.

NISS, M. Towards a conceptual framework for identifying student difficulties with solving Real-World Problems in Physics. **Latin - American Journal of Physics Education**, v. 6, n. 1, p. 3 – 13, 2012.

_____. Obstacles Related to Structuring for Mathematization Encountered by Students when Solving Physics Problems. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v. 15, n. 8, p. 1441 – 1462, 2017.

OGILVIE, C. Changes in students' problem-solving strategies in a course that includes context-rich, multifaceted problems. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, v. 5, n. 2, p. 1 – 14, 2009.

OH, S.; JONASSEN, D. Scaffolding online argumentation during problem solving. **Journal of Computer Assisted Learning**, v. 23, n. 2, p. 95 – 110, 2007.

OLIVEIRA, V.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Tópicos de Eletromagnetismo via Instrução pelos Colegas e Ensino sob Medida para o Ensino Médio. Hiperfólios de apoio ao professor, n. 27, ISSN 1808-3382, 2013.

_____. Relato de experiência com os métodos Ensino sob Medida (*Just-in-Time Teaching*) e Instrução pelos Colegas (*Peer Instruction*) para o ensino de tópicos de Eletromagnetismo no ensino médio, v. 32, n. 1, p. 180 - 206, 2015.

PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a resolução de problemas no ensino da Física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 14, n. 3, p. 229 – 253, 1997.

PEREIRA, M. M.; ABIB, M. L. V. dos S. Afetividade e metacognição em percepções de estudantes sobre sua aprendizagem em Física. **Revista Ensaio**, v. 18, n. 1, p. 107 – 122, 2016.

PICQUART, M. ¿Qué podemos hacer para lograr un aprendizaje significativo de la física ? **Latin American Journal of Physics Education**, v. 2, n. 1, p. 29 – 36, 2008.

PIZZOLATO, N.; FAZIO, N.; MINEO, R. M. S.; ADORNO, D. P. Open-inquiry driven overcoming of epistemological difficulties in engineering undergraduates: A case study in the context of thermal science. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, v. 10, n. 1, p. 010107, 2014.

- R RAMALHO DE SOUZA, E. S. Uma experiência com modelagem matemática para a abordagem de conceitos de física. **Acta Scientiae**, v. 14, n. 2, p. 309 – 325, 2012.
- RIBEIRO, C. Metacognição: Um Apoio ao Processo de Aprendizagem. **Psicologia: Reflexão e Crítica**, v. 16, n. 1, p. 109 – 116, 2003.
- ROBINSON, A. W. Don' t just stand there—teach Fermi problems! **Physics Education**, v. 43, n. 1, p. 83 – 87, 2008.
- ROBINSON, A. W.; PATRICK, C. G. The physics of Colonel Kittinger's longest lonely leap. **Physics Education**, v. 43, p. 477, 2008.
- SAMPIERE, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M. P. B. **Metodologia de Pesquisa**. Porto Alegre: Penso, 2013.
- SASSERON, L. H. Alfabetização Científica, Ensino por Investigação e Argumentação: Relações entre Ciências da Natureza e Escola. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 17, n. spe, p. 49 – 67, 2015.
- SCHENONI, G.; STIPCICH, S. Análisis del desempeño de alumnos de ingeniería en relación a competencias científicas, durante la resolución grupal de un problema de física básica. **Latin American Journal of Physics Education**, v. 7, n. 2, p. 284 – 290, 2013.
- SHEKOYAN, V.; ETKINA, E. Introducing Ill-Structured Problems in Introductory Physics Recitations. In: AIP CONFERENCE PROCEEDINGS, 2007, p. 192 - 195.
- SHIN, N.; JONASSEN, D.; MCGEE, S. Predictors of well-structured and ill-structured problem solving in an astronomy simulation. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 40, n. 1, p. 6 – 33, 2003.
- STEWART, T.; MACINTYRE, W.; GALEA, V.; STEEL, C. Enhancing problem-based learning designs with a single E-Learning Scaffolding Tool: Two case studies using challenge FRAP. **Interactive Learning Environments**, v. 15, n. 1, p. 77 – 91, 2007.
- TAO, P. K. Confronting students with multiple solutions to qualitative physics problems. **Physics Education**, v. 36, n. 2, p. 135 – 139, 2001.
- TRUYOL, M. E.; GANGOSO, Z.; LÓPEZ, V. S. Modeling in Physics: a matter of experience? **Latin - American Journal of Physics Education**, v. 6, suppl. I, p. 260–265, 2012.
- TRUYOL, M. H.; GANGOSO, Z. La selección de diferentes tipos de problemas de física como herramienta para orientar procesos cognitivos. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 15, n. 3, p. 463 – 484, 2010.
- VAN OPSTAL, M. T.; DAUBENMIRE, P. L. Extending Students' Practice of Metacognitive Regulation Skills with the Science Writing Heuristic. **International Journal of Science Education**, v. 37, n. 7, p. 1089 – 1112, 2015.

VERGNAUD, G. Teoria dos campos conceituais. In: 10 SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA DO RIO DE JANEIRO, 1993, Rio de Janeiro. **Anais**, 1993, p. 1 - 26.

_____. A trama dos campos conceituais na construção dos conhecimentos. **Revista do GEMPA**, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 287 – 304, 1996.

_____. Forme opératoire et forme prédicative de la connaissance. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 287 – 304, 2012.

_____. ¿ Por qué la teoría de los campos conceptuales? **Infancia y Aprendizaje**, Madrid, v. 36, n. 2, p. 131 – 161, 2013.

WAMPLER, W.; DEMAREE, D.; GILBERT, D. Reflective discourse techniques: From in-class discussions to out-of-classroom problem solving. In: AIP CONFERENCE PROCEEDINGS, 2013.

WEI, T.; FORD, J. Enhancing the Connection to Undergraduate Engineering Students: A Hands-on and Team-Based Approach to Fluid Mechanics. **Journal of STEM Education**, v. 16, n. 2, p. 46 – 53, 2015.

WEINSTEIN, L. Guesstimation 2.0: solving today's problems on the back of a napkin. Princeton University Press, 2012.

WRASSE, Ana Cláudia et al. Investigando o impulso em crash tests utilizando vídeo-análise. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [s. l.], v. 36, n. 1, p. 1–6, 2014.

YIN, R. K. **Pesquisa Qualitativa: do início ao fim**. Porto Alegre: Penso, 2016.

APÊNDICE A

ENTREVISTA: ESTUDO EMPÍRICO

Perguntas realizadas na entrevista

1. Nesses últimos dias tivemos encontros para resolver problemas de Física. Podes descrever, brevemente, o que achaste dessa experiência?
2. Percebeste alguma diferença entre os problemas de Física que costumavas resolver em sala de aula e aqueles que nos propusemos a resolver nos encontros que tivemos? Se sim, quais as diferenças que percebeste?
3. Conseguiste propor solução (resolver) todos os problemas que propusemos? Se não, por quê?
Quais habilidades você julga serem necessárias para solucionar o tipo de problema que nos propusemos a resolver?
4. Quais as principais dificuldades que enfrentaste para resolver os problemas?
5. Consideras que esse tipo de problema deva ser utilizado normalmente nas aulas de Física? Por quê?

Problema aberto apresentado na entrevista

Um estudante de Física, em sua primeira viagem de avião comercial, se propõe a estimar a aceleração média desenvolvida pela aeronave em sua decolagem, atentando para algumas grandezas físicas. Qual a estimativa para a aceleração média que você supõe que ele possa ter obtido?

APÊNDICE B

PROBLEMAS ABERTOS DO ESTUDO EMPÍRICO

Problema 1

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?

Problema 2

Você e alguns amigos estão organizando uma festa para 100 convidados, que acontecerá ao redor de uma piscina, num típico dia de verão. Às 6 h da manhã você deve colocar as bebidas para gelar em algumas caixas de isopor. Preocupado em mantê-las bem geladas, você busca estimar a quantidade suficiente de sacos de 5,0 kg gelo que devem ser comprados. Decidido a não desperdiçar dinheiro comprando uma quantidade exagerada de gelo, quantos sacos você deve comprar?

Problema 3

PRIMEIRO DIA NO TRABALHO

Autor: Nathaniel Lasry (John Abbott College)

Fonte: <http://pbl.ccdmd.qc.ca/resultat>

Você foi recentemente contratado como investigador por uma companhia de seguros. Em seu primeiro dia, você é enviado para o local de um acidente entre um pequeno carro e um caminhão de entrega. Você chega no local do acidente e encontra o motorista do carro em uma maca em uma ambulância. Ela está consciente, mas ferida e abalada.

Ao abrir o seu arquivo de trabalho, encontra a seguinte carta:

Caro novo inspetor,
Às 7:30 desta manhã, uma motorista segurada pela nossa empresa (Apólice Nº: 241-575-374B) colidiu com um caminhão de entrega em um pequeno beco que liga a rua Peel para a rua Metcalfe no centro da cidade. Embora o limite de velocidade na pista seja de 20km/h, a colisão pareceu bastante grave. Por favor, determine se o artigo 315-6 da apólice pode ser aplicado. Note que é necessário um bom conjunto de evidências para aplicar esta cláusula. Lembro de ter ouvido coisas boas sobre a qualidade e rigor do seu trabalho.
Atenciosamente,

Hugo "O chefe"

P.S.: Uma vez que este é o seu primeiro dia, eu anexeí a Cláusula 315-6.

Cláusula 315-6: Em caso do segurado ser criminalmente responsável ou negligente em sua condução, a companhia de seguros irá assumir apenas 50% dos custos de reparação e se reserva o direito de aumentar a franquia por um período subseqüente de cinco anos. Para a empresa cobrir os custos de reparação, o titular deve concordar em fornecer acesso a todos os arquivos médicos relacionados com a reivindicação do acidente.

1. O termo criminalmente responsável refere-se a dirigir alcoolizado ou condução sob a influência de substâncias ilícitas, como o álcool, maconha ou cocaína.

2. O termo negligente refere-se à condução em violação flagrante do Código de Segurança Rodoviária, tais como atravessar mais de duas pistas em menos de 100 m ou a condução a mais de 30 km/h acima do limite de velocidade.

Você passa por uma série de etapas para prosseguir a sua investigação, tais como a análise do arquivo do segurado, entrevista a testemunhas oculares, análise da cena do acidente, revisão do arquivo médico do motorista e entrevista o médico assistente.

Arquivo do Segurado

Apólice Nº.: 241-575-374B

Nome: Maria Andretti

Endereço: Shumaker Drive, 500
Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil

Idade: 52 anos

Experiência de direção: 24 anos

Tipo da Apólice: Seguro contra todos os riscos

Carro segurado: Honda Accord, 2002.

Carro depois do acidente: você encontra a seguinte fotografia no arquivo.



Relato da testemunha ocular

"Eu vi o carro entrar na pista. Eu não sei o quão rápido ele estava indo. O caminhão deu ré da doca de carregamento e foi para o outro lado da pista. Eu ouvi um grande BANG! Tudo aconteceu tão rápido. Parece que a motorista não viu o caminhão. Eu nem acho que o carro teve tempo para frear. "

Cena do acidente:

Colisão em ângulo reto (90°) entre o carro e o caminhão.

Parte frontal de carro esmagado: poucos centímetros restantes entre para-choques dianteiro e o centro da roda dianteira.

Lado direito do caminhão amassado com o impacto: 5 cm de profundidade

Não há marcas de derrapagem aparente.

Arquivo médico da motorista após acidente

Pressão arterial: 105/65

Frequência cardíaca: 103

lacerações do cinto de segurança no pescoço e no peito

exame toxicológico de drogas:

Cocaína: negativo

Álcool: negativo

Entrevista com o médico assistente

Médico: O cinto de segurança salvou a vida dela! Houve impacto considerável.

Você: Como você pode dizer?

Médico: Bem, a partir da experiência, posso dizer-lhe que uma laceração do cinto de segurança deste tamanho corresponde a um impacto de 20 g a 25 g.

Você: Nossa! 20 a 25 vezes a aceleração da gravidade – isso é bastante coisa! Você tem certeza disso?

Médico: Bem, é certamente mais do que 20 g, mas o corte não é profundo o suficiente para 25 g. Desculpe, eu tenho que correr agora; Estou recebendo uma chamada de emergência.

Ok. Obrigado pelo seu tempo.

Pergunta:

De posse de todos esses dados, o que você irá reportar ao seu chefe?

Problema 4

Sua mãe está dirigindo para lhe levar ao IFSul, distraidamente, apreciando o belo dia, quando de repente percebe que o semáforo à sua frente acabara de trocar para o vermelho, e então, aciona os freios com grande intensidade, provocando a derrapagem do veículo. Muito nervosa, ela desce do veículo para se acalmar e poder seguir em frente.

Infelizmente, um guarda de trânsito observava a manobra e, ao se aproximar, afirma que o veículo estava com velocidade acima do limite permitido na via. Como estudante de Física, você decide investigar a cena do ocorrido para contestar a multa que sua mãe está prestes a receber. Quais os principais elementos que você deve investigar e quais os argumentos físicos que você pode utilizar com o guarda de trânsito para contestar a multa por excesso de velocidade?

Problema 5

O CASO DO GANGSTER E A ARMA

Autor: Camil Cyr (Collège de Maisonneuve)

Fonte: <http://pbl.ccdmd.qc.ca>

Seu sonho finalmente se tornou realidade! Você foi contratado como assessor científico de um popular programa de televisão. Neste show, os anfitriões analisam as acrobacias e efeitos especiais em vários filmes para determinar quão realistas eles são. Após a sua chegada, você encontra uma nota em sua mesa:

Bem vindo à equipe!

Sua primeira tarefa será preparar uma resposta à pergunta de um telespectador para o programa da próxima semana. Envie-nos todos os seus cálculos, com explicações detalhadas, seguido por um pequeno resumo para apresentarmos à câmera. Além disso, pedimos que você proponha uma demonstração prática para ilustrar seu raciocínio. Não se preocupe com o orçamento, quanto mais espetacular a demonstração, melhor! Como você já sabe, o nosso telespectador médio completou a física do ensino médio. Você pode referir-se a conceitos de energia em suas explicações, mas tenha em mente que você estará ensinando esses conceitos e deve explicar quaisquer termos técnicos utilizados.

Tremendo de emoção, você baixa o e-mail do espectador.

"Em crimes nos filmes de drama, muitas vezes vemos gangsteres serem baleados e, por isso, atirados a distâncias consideráveis, geralmente contra uma parede, após o impacto da bala. Quão realista é isso? "

Você decide falar com a pesquisadora do programa, a fim de descobrir quais os tipos de armas de fogo são usados nos filmes.

"Eu sugiro que você dê uma olhada na calibre .44 Remington Magnum", diz ela. "É o tipo mencionado em filmes como "Dirty Harry" e "Taxi Driver". O projétil desse tipo de arma tem massa menor que uma fatia de queijo e sua velocidade de saída é bastante alta"

Qual a sua conclusão?

Problema 6

Você trabalha em um pequeno barco durante o verão e está ajustando um pedaço de madeira para a corrente da sua chave para evitar que ela afunde, caso a deixe cair na água.

Quando o seu amigo (que estuda em uma Universidade de Tecnologia) vê isso, ele ri, e diz que um pedaço de madeira não é o suficiente para fazer a chave flutuar. O volume do pedaço de madeira é de aproximadamente meia taça de café. Como você conhece alguns conceitos de Física, lança o seguinte desafio para ele:

"Jogarei o conjunto (chave, corrente e pedaço de madeira) na água: se afundarem, perderei minha chave, mas se flutuarem, você deverá mergulhar e trazê-los de volta".

Quem ganhará o desafio?

APÊNDICE C

QUESTÕES-ESTÍMULO UTILIZADAS NO ESTUDO EMPÍRICO

- a) Qual o fenômeno físico representado no problema?
- b) Todas as informações necessárias foram apresentadas no problema? Se não, quais estão faltando?
- c) [essa pergunta era específica para cada um dos problemas]
- d) Quais as etapas de sua proposta de solução?
- e) Qual a sequência de raciocínio que você utilizou para selecionar o processo de resolução?
- f) Você possui evidências para apoiar sua solução?
- g) Você compreendeu o fenômeno como um todo?
- h) Os resultados encontrados são possíveis, dentro de um contexto real?
- i) O que poderia ter sido feito diferente?

Todos os problemas propostos no Estudo Empírico estavam acompanhados das mesmas nove questões-estímulo acima, exceto a questão (c), que era específica para cada problema. A seguir, apresentaremos cada uma dessas questões:

Problema 1:

- c) o tipo de colisão é relevante para a solução do problema?

Problema 2:

- c) O recipiente das bebidas é importante para a solução do problema?

Problema 3:

- c) É importante estimar a deformação frontal do veículo?

Problema 4:

- c) O comprimento das marcas de pneu deixadas na pista interessa?

Problema 5:

- c) De que forma a massa e a velocidade do projétil interferem em sua proposta de resolução?

Problema 6:

- c) a densidade da madeira é relevante para a solução do problema?

APÊNDICE D

TERMO DE CONSENTIMENTO INFORMADO E ESCLARECIDO

Eu, _____, RG _____, aluno(a) de Curso Técnico de Nível Médio do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Campus Pelotas, declaro por meio deste termo que me voluntario a participar da coleta de dados da pesquisa científica sobre a metodologia de ensino empregada no estudo. A pesquisa será realizada pelo professor do IFSul, Vagner Oliveira, aluno do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob a orientação dos professores Ives Solano Araujo e Eliane Angela Veit.

Declaro que fui informado de que as informações coletadas a partir desta pesquisa serão utilizadas apenas em situações acadêmicas (e.g. elaboração de artigos científicos, palestras, seminários, trabalhos de conclusão de curso etc.), sem trazer minha identificação. Autorizo, para fins de divulgação dos trabalhos acadêmicos produzidos, as fotos e filmagens obtidas. Ao mesmo tempo, libero a utilização destas fotos e/ou depoimentos para fins científicos e de estudos (e.g. livros, artigos e slide), em favor dos pesquisadores da pesquisa acima especificados. Estou ciente de que posso cancelar minha participação na pesquisa a qualquer momento, bastando apenas informar minha vontade ao pesquisador. Minha colaboração terá início quando eu entregar este presente termo devidamente assinado, sem quaisquer ônus financeiros a nenhuma das partes.

Pelotas, ____ de _____ de 20 ____.

Ives Solano Araujo

Eliane Angela Veit

Vagner Oliveira

Assinatura do aluno participante

APÊNDICE E

PROBLEMAS ABERTOS EM FÍSICA, PROPOSTOS A PARTIR DO EMBASAMENTO DA ATR

PASSANDO NO SINAL AMARELO

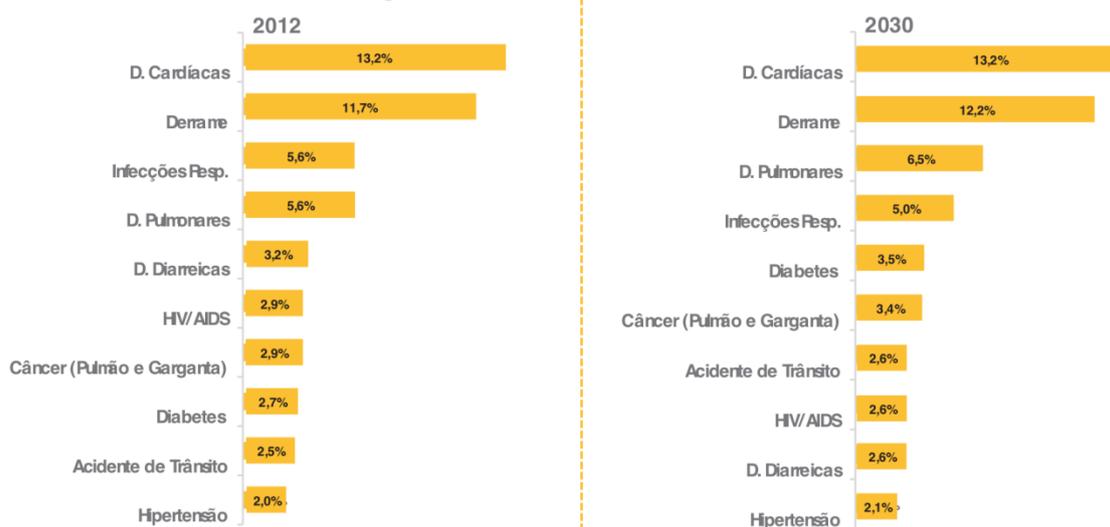
Inspirado em: Walker, J. (2008). O circo voador da Física.

CONTEXTO

Fonte: ONSV (Observatório Nacional de Segurança Viária)
<http://iris.onsv.org.br/iris-beta/downloads/retrato2014.pdf>

Em 2030, os acidentes de trânsito devem se tornar a 7ª maior causa de óbitos no mundo, matando mais do que doenças como diabetes e hipertensão

Principais causas de óbitos - Mundo



FONTE: ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 2012

Acidentes de trânsito são a principal causa de óbito entre jovens de 15 a 29 anos

“Dentre as vítimas fatais, metade está entre usuários vulneráveis: pedestres, ciclistas e motociclistas. Mais de 90% das vítimas fatais e não-fatais estão em países de baixa e média renda, sendo que eles concentram apenas 48% dos veículos registrados em todo o mundo. O custo para lidar com as consequências desses acidentes pode chegar, nas nações menos desenvolvidas, de 1% a 2% de seus PIBs. As tendências atuais sugerem que, até 2030, o número de mortos em acidentes pode chegar a 1,9 milhão de pessoas” (p. 29). [...] “Na reunião de esforços para a diminuição da insegurança viária, fica claro o papel substancial de uma política que vise o engajamento e mudança de comportamento entre jovens de 15 a 29 anos, para os quais os acidentes de trânsito são hoje a maior causa de morte, representando 30% de todos os óbitos” (p. 33).

Homens de 15 a 44 anos representam mais de 77% das mortes no trânsito

É possível observar um padrão, independentemente das regiões: quase 60% das mortes no trânsito estão entre pessoas de 15 a 44 anos, sendo que mais de três quartos (77%) ocorrem entre os homens”.

Para cada óbito, até 50 pessoas ficam feridas devido a acidentes

“De acordo com a OMS, outro padrão observado é que, para cada morte causada por acidentes de trânsito, de 20 a 50 pessoas ficam feridas, porém os dados sobre lesões são em geral imprecisos pode serem mal documentados” (p 34).

Fatores de risco

Os cinco principais fatores de risco associados à insegurança viária, segundo a Organização Mundial de Saúde (2013), são: a) excesso de velocidade; b) associação de bebida alcoólica e direção; c) não uso de capacete; d) não uso de cinto de segurança; e) não uso de equipamento de retenção de crianças.

Podemos classificar os fatores de risco mencionados acima em uma só categoria: “imprudência”. Relacionado a isso, consideramos a situação a seguir:

ENUNCIADO DO PROBLEMA

Imagine que você está voltando para a casa com seus pais, de carro, quando o sinal do semáforo fica amarelo pouco antes de chegarem ao cruzamento. Observando a situação, você entende que seu pai, o motorista, tem três opções:

1. Frear, com intuito de tentar parar antes de chegar ao cruzamento;
2. Continuar à mesma velocidade;
3. Acelerar.

Você, estudante de Física, pode avaliar o evento com base na velocidade do veículo, distância até o cruzamento, largura do cruzamento e o tempo de duração do sinal amarelo. É possível que seu pai, por mais que seja um motorista experiente, infrinja as leis de trânsito com qualquer uma das escolhas, e por ventura venha a provocar um acidente de trânsito?

QUESTÕES AUXILIARES – Definição e representação do problema.

- a) Vocês poderiam descrever os principais conceitos envolvidos no problema proposto?
- b) Vocês dispõem de todos conhecimentos necessários à resolução completa do problema? Se sim, explicitem todos eles. Se não, quais conhecimentos ainda precisam ser obtidos?
- c) Se necessário for, como vocês planejam obter todos os conhecimentos que ainda não têm?
- d) Vocês poderiam resumir o problema, explicitando todos os conhecimentos que dispõem, as grandezas fundamentais para resolver o problema e os conhecimentos que precisarão ser obtidos?

e) Tendo compreendido do que trata o problema, citem duas outras situações semelhantes, de objetos que descrevam o mesmo tipo de movimento.

f) Quais os objetos ou elementos do evento farão parte do problema? Ou seja:

- A largura do cruzamento é relevante?
- As dimensões do veículo importam? Consideramos como uma partícula ou como um corpo extenso?
- O tamanho e a posição do semáforo devem ser levados em consideração?
- Há algum tipo de inclinação na pista?
- Outros veículos serão envolvidos na descrição do problema?

g) Vocês são capazes de montar uma representação esquemática da situação?

ATIVIDADE AUXILIAR

Vocês podem acreditar que em Ciência todas as medições realizadas devam seguir critérios rigorosos para que sejam obtidos resultados precisos, no limite máximo permitido. No entanto, em diferentes cenários, seja ele científico, acadêmico ou cotidiano, não é preciso que invariavelmente as variáveis necessárias para resolver um problema tenham valores exatos, nem que procedimentos rigorosos sejam realizados. Dependendo dos objetivos e da precisão que se almeja, a análise de um evento pode ser suficientemente bem compreendida com valores aproximados (ou estimativas), o que permite maior economia de tempo, informação e formalização.

Tendo isso em vista, como podemos obter estimativas de comprimento, sem que tenhamos que utilizar instrumentos precisos para medição? Comparar o objeto a ser medido com padrões conhecidos pode auxiliar.

A atividade a seguir tem como objetivo auxiliar na obtenção desses padrões de comparação.

Vamos estimar!

1. Estime o tamanho da sua caneta. Dica: você pode comparar com o tamanho do seu polegar, ou então com outros objetos de dimensões que você conheça.

Anote aqui a estimativa encontrada:

Agora, com auxílio de uma régua, meça o comprimento da caneta e anote aqui:

Qual foi a diferença entre a medida obtida e a estimativa realizada (Medida – Estimativa)?

2. Você pode realizar a mesma atividade, mas para determinar o comprimento de seu caderno. Lembre-se que agora você já conhece o comprimento aproximado de uma caneta, e essa informação pode ser utilizada como um parâmetro de comparação.

Estimativa:

Medida:

Diferença (Medida – Estimativa):

3. Por fim, determine o comprimento da sala de aula em que você se encontra. Para isso, você pode utilizar os seguintes conhecimentos:

- a) comprimento da sua passada;
- b) comprimento da sua envergadura;
- c) comprimento do seu pé;

Qual a diferença entre a estimativa e a medida realizada?

Calcule essa diferença em termos percentuais e responda: Essa diferença é significativa?

QUESTÕES AUXILIARES – Elaboração de planos e estratégias de solução

Realizada a atividade auxiliar, podemos retornar ao problema original.

a) Vocês seriam capazes, agora, de elaborar uma representação (um desenho, um esquema) do problema, inserindo todas as informações relevantes ao problema, como uma estimativa da velocidade do veículo, da distância do cruzamento, e de sua largura, por exemplo?

b) Vocês estão levando em consideração o tempo de reação do motorista?

Caso não saibam ou não lembrem o que é tempo de reação, podem acessar o seguinte *link*:

[https://pt.wikipedia.org/Tempo de reação](https://pt.wikipedia.org/Tempo_de_reação)

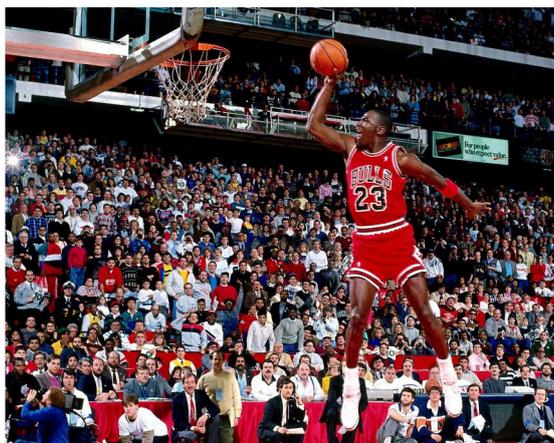
c) Vocês já reconhece a(s) equação(ões) física(s) que melhor se encaixará(ão) na descrição matemática do problema?

De posse de todas as informações e dados do problema, vocês poderiam apresentar uma resposta à pergunta inicial?

É possível que seu pai, por mais que seja um motorista consciente e experiente, infrinja as leis de trânsito com qualquer uma das escolhas, mesmo sem exceder o limite de velocidade?

Busquem apresentar sua resposta com o maior número possível de argumentos.

BASQUETE



Fonte: <https://classicphotos.com.br>

O basquete é um dos esportes mais populares e praticados no mundo todo. Nos EUA, o basquete é o segundo esporte mais popular, e as suas seleções, masculina e feminina, são consideradas as mais fortes do mundo. A liga americana de basquete (NBA), é uma das quatro ligas esportivas mais populares da cultura americana, juntamente com as do futebol americano, beisebol e hóquei no gelo.

Esportistas como Michel Jordan (foto acima) e Magic Johnson elevaram o status do basquete e ajudaram a difundir ainda mais o esporte. Atualmente, jogadores como LeBron James e Stephen Curry são responsáveis por manter o nível do esporte e o altíssimo índice de audiência, levando multidões de torcedores aos ginásios. No cenário nacional, o jogador de maior prestígio e fama foi Oscar Schmidt, considerado o maior pontuador da história do basquete, e um dos personagens principais do título dos *Jogos Pan-Americanos* de 1987, sobre a seleção americana.

Relacionado a um jogo de basquete, *“existe uma maneira de arremessar a bola que aumente a probabilidade de fazer uma cesta? Por exemplo: é melhor arremessar a bola em um arco alto, ou arremessá-la em uma trajetória mais reta? Em que circunstâncias arremessar a bola girando pode ser benéfico e em que circunstâncias é indesejável?”*

Inspirado em: Walker, J. (2008, p. 16). O circo voador da Física.

Entre 2015 e 2016 foi bastante difundido na internet um pequeno vídeo de comédia, no qual um faxineiro de um ginásio de basquete acerta três arremessos do centro da quadra, após determinar, numericamente, a velocidade com que deveria lançar a bola. O vídeo pode ser assistido no seguinte *link*:

<https://www.youtube.com/watch?v=BXLRL0Cb1z4>.

O personagem do vídeo determina, inicialmente o diâmetro do aro de basquete, a altura do aro em relação ao solo, a distância do arremesso e a pressão da bola.

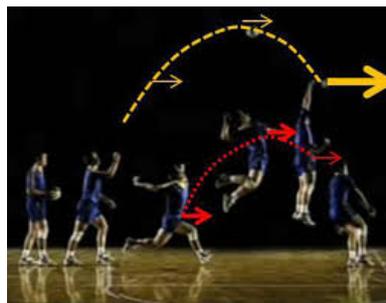


No vídeo, o personagem obtém êxito nos cálculos e acerta o lançamento.

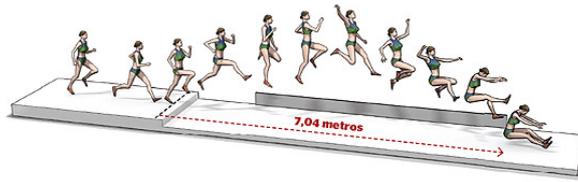
Suponha que você deseja reproduzir, com perfeição, a situação apresentada no vídeo acima: um arremesso perfeito, do centro de uma quadra de basquete, após determinar as grandezas físicas relevantes. Quais são essas grandezas físicas e quais as suas intensidades?

QUESTÕES AUXILIARES – Definição e representação do problema.

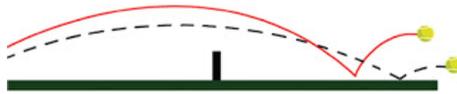
- Vocês compreenderam completamente o problema? Quais as grandezas físicas envolvidas?
- Quais os conhecimentos que ainda precisam ser obtidos?
- Qual o tipo de movimento descrito pela bola? Vocês seriam capazes de reconhecer esse mesmo tipo de movimento em outras situações, com outros objetos? Avaliem as situações abaixo:



(a) Movimento de um jogador de vôlei durante um saque.



(b) Fases do salto em distância. Retirado de: <http://revistaepoca.globo.com>



(c) Duas possíveis trajetórias de uma bola de tênis. Retirado de:
<http://www.breakpointbrasil.com.br>

d) Buscando simplificar o evento, quais elementos da realidade vocês irão abordar, e quais as idealizações que serão assumidas? Por exemplo:

- A massa da bola e o material de que ela é feita deverão ser levados em consideração?

- E a altura do jogador, interfere na velocidade e inclinação necessário para o lançamento perfeito?

- O arremesso ocorrerá em um ginásio fechado ou em uma quadra esportiva a céu aberto? Faz diferença?

e) Para auxiliar na interpretação do problema, vocês podem elaborar uma representação esquemática do evento (um gráfico, um desenho), inserindo todas as informações relevantes ao problema que tem a disposição.

QUESTÕES AUXILIARES – Elaboração de planos e estratégias de solução

a) É possível supor que a bola está sob ação simultânea de um movimento vertical e de um movimento horizontal? Se sim, quais seriam as características de cada um desses movimentos?

b) Quais estratégias e o caminho de solução que vocês pretendem utilizar?

c) Vocês já reconhecem a(s) equação(ões) física(s) que melhor se encaixará(ão) na descrição matemática do problema?

QUESTÕES AUXILIARES – Implementação das estratégias

a) Transformem o modelo construído em linguagem matemática, explicitando seus cálculos.

b) Estão utilizando aproximações matemáticas?

c) Vocês veem necessidade de construir algum arranjo experimental para evoluir na resolução do problema?

QUESTÕES AUXILIARES – Avaliação e monitoramento do processo

a) Após chegar a um resultado para o problema, vocês diriam que essa resposta é coerente com a realidade? Não há nenhuma discrepância entre o resultado, o evento físico, e o caminho de solução adotado?

Vocês podem tentar comparar seus resultados com o vídeo a seguir, no qual o jogador Stephen Curry, do Golden State Warriors, no dia 24/02/2017 acerta um arremesso do centro da quadra, em um jogo contra o Los Angeles Clippers.



<https://www.youtube.com/watch>

b) Vamos agora expandir o domínio de validade do nosso modelo, a partir da inclusão de novos elementos da realidade.

- Considerem que o arremesso está sendo feito em uma quadra aberta, em um dia com ventos consideráveis. O que alteraria no modelo construído?

- O efeito Magnus atua consideravelmente no movimento da bola até a cesta? Se vocês desconhecem esse efeito, podem assistir um vídeo, cujo *link* está colocado a seguir:

<https://www.youtube.com/watch>

Exposição dos resultados e discussões finais

Por fim, preparem uma pequena apresentação para o grande grupo, explicitando os resultados obtidos, os procedimentos adotados e os principais argumentos utilizados no processo de resolução do problema.

Tenham em mente que os outros grupos também apresentarão suas investigações e propostas de resolução do problema. Preparem-se para avaliar criticamente os outros trabalhos, e fornecer contribuições para aprimorar a resolução de problemas dos colegas.