



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

William Borella

**Linguagem científica de Thomas Kuhn e a matemática em livros didáticos da educação
básica e manual de ensino superior de Física: o caso da 1ª lei da termodinâmica**

Florianópolis

2022

William Borella

Linguagem científica de Thomas Kuhn e a matemática em livros didáticos da educação básica e manual de ensino superior de Física: o caso da 1ª lei da termodinâmica

Dissertação submetida ao Programa de pós-graduação em educação científica e tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de mestre em Educação Científica e Tecnológica.

Orientador: Prof. Dr. Henrique César da Silva

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra

Borella, William

Linguagem científica de Thomas Kuhn e a matemática em livros didáticos da educação básica e manual de ensino superior de Física: o caso da 1ª lei da termodinâmica / William Borella ; orientador, Henrique César da Silva, 2022.

92 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências da Educação, Programa de Pós Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Educação Científica e Tecnológica. 2. Educação Científica e Tecnológica, Ensino de Física, Livros didáticos, Linguagem Científica. I. César da Silva, Henrique. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica. III. Título.

William Borella

Linguagem científica de Tomas Kuhn e a matemática em livros didáticos da educação básica e manual de ensino superior de Física: o caso da 1ª lei da termodinâmica

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Jonathan Thomas Neto Gazeto, Dr.
Instituto Federal de Santa Catarina

Prof.(a) Marinês Domingues Cordeiro, Dr.(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Diogo Amaral de Magalhães, Dr.
Instituto Federal Catarinense

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Educação Científica e Tecnológica.

Prof.^a Mariana Brasil Ramos, Dr.^a
Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof. Henrique César da Silva, Dr.
Orientador

Florianópolis

2022

Este trabalho é dedicado aos meus pais, minha irmã, meus
afilhados e meus amigos.

AGRADECIMENTOS

O processo de construção dessa pesquisa passou por diversas fases e em todas elas eu pude contar com pessoas as quais faço questão de agradecer neste espaço que me convém:

Primeiramente aos meus pais, Dona Diva e Seu Moacir, sem eles, nada disso seria possível. Espero num futuro poder retribuir pelo menos um pouco do tanto que fizeram por mim até hoje.

A minha irmã a qual nunca mediu esforços pra me defender nessa vida. Ajudou a me criar e hoje é grande fonte de inspiração.

Aos meus afilhados os quais eu não consigo mensurar em palavras o quanto foram ponto de escape ao ver um sorriso, um passo, ao sentir um abraço. Vocês são incríveis: Lucas, Cecília e Matheus. O dindo estará aqui sempre que vocês precisarem.

Ao orientador desta pesquisa, professor Henrique, que lá em 2019 aceitou a jornada de orientar um estudante que tinha pouca experiência em pesquisa científica e que com paciência e compreensão fez o melhor trabalho que um orientador poderia ter feito. Meu muito obrigado.

Aos meus amigos de Atlético MEF: Ayslan, André, Crizan, Maércio, Ronaldo, Patrick, Weler. Eu amo vocês e espero que façam ideia do quanto foram importantes nesta pesquisa.

Aos meus colegas de PPGECT que por tantas vezes salvaram minha pele em Florianópolis. Além de estarem sempre disponíveis para relaxar no bar: Kléber, Sara, Gabriel, Valéria, Débora, Natasha, Raquel e Renata.

Ao grupo de pesquisa FLUXO por todas as trocas de ideias e conversas referentes a pesquisa científica em diversos âmbitos. Levo as reflexões nas linhas deste texto.

Ao corpo docente do PPGECT pelo acolhimento e todos os ensinamentos nesses quase 3 anos de curso, onde nunca mediram esforços para superar todas as adversidades devido a pandemia. Em especial, professor Juliano Camilo e Professora Regina Célia Grandó.

Aos meus antigos professores e colegas de graduação, em especial ao professor Luciano que nos incentivou a nunca pararmos e a Lara, Karen, Guilherme, Mari, Luana, Leonardo e Carol por sempre esperarem o melhor de mim. Vocês me fizeram ser uma pessoa e um profissional muito melhor.

A CAPES agência de fomento que possibilitou o desenvolvimento do curso de mestrado de maneira parcial através do fornecimento de bolsa estudantil.

Aos profissionais que trabalham no PPGECT e que por vezes não mediam esforços para resolver nossos problemas, em especial o pessoal da secretaria, meu muito obrigado.

“A linguagem é uma moeda, com uma das faces voltada para fora, para o mundo, e a outra voltada para dentro, para o reflexo do mundo na estrutura referencial da linguagem.” (KUHN, 2006)

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo principal abordar a matemática no ensino de física, tomando como recorte empírico a primeira lei da termodinâmica em livros didáticos do Ensino Médio e em um manual de Ensino Superior. Buscando entender as relações que tangem a matemática presente no ensino de física e seu papel formativo na concepção da física. A epistemologia de Thomas Kuhn foi adotada como referencial teórico. Sua noção de linguagem científica, que contempla o léxico e os elementos da Matriz Disciplinar (MD), como, generalizações simbólicas, exemplares e modelos, possui grande potencial analítico para pensar o funcionamento da matemática na física e no seu ensino. Realiza-se uma análise comparativa de dois livros do PNLD 2018 e um manual de Ensino Superior. Através da abordagem kuhniana, entende-se que a textualização da Primeira Lei da Termodinâmica no material analisado está intrinsecamente relacionada tanto ao papel da matemática na física quanto à educação científica, tanto no nível básico quanto no de formação de físicos. Observaram-se diferenças na forma como as generalizações simbólicas (em linguagem verbal e equacional) referentes à Primeira Lei da Termodinâmica aparecem em diferentes livros didáticos; no modo como aparecem interpretadas, na relação com os exemplares e na relação com os modelos. Concomitantemente a isso, foi possível observar que a matemática tem papel fundamental na linguagem científica da física, segundo a concepção de Thomas Kuhn. Ela aparece nas generalizações simbólicas, está relacionada ao léxico, aparece nos exemplares e modelos. Conclui-se que: o aprendizado da linguagem científica da física se dá através da relação dos elementos da Matriz Disciplinar entre si, elementos que estabelecem a relação entre o léxico e o mundo pelo seu uso; e que esses elementos podem se apresentar e estabelecer relações diferentes em diferentes livros didáticos. Essa relação entre a matemática e a linguagem científica proposta por Kuhn transparece nos livros didáticos em estrutura, tanto de ensino superior, quanto de ensino básico. Com diferenças referentes a profundidade da matemática proposta no livro de ensino superior e o objetivo proposto por cada livro didático. Foi possível observar que as iguais características envolvidas em diferentes níveis e objetivos de aprendizagem da linguagem científica da Primeira Lei da Termodinâmica pode ser um dos motivos dificultadores da tríade estudante-linguagem científica-matemática. No sentido de que, ao fazer uso dos elementos da Matriz Disciplinar em sala de aula, com o uso do livro didático de ensino básico, o estudante é induzido a reproduzir o mesmo caminho traçado pela formação de um físico, a qual, na verdade, o objetivo é diferente.

Palavras-chave: linguagem científica; matemática da física; léxico; Matriz disciplinar

ABSTRACT

This paper's main purpose is to approach mathematics while teaching physics, having the First Law of Thermodynamics as the empirical grounding from high school textbooks and from a manual of higher learning. Aiming to understand the relation that the teaching of mathematics presents in the teaching of physics and its educational role in the conception of physics. Thomas Kuhn's epistemology was adopted as a theoretical frame. Its notion of the scientific language, which encompasses the lexicon and the disciplinary matrix's elements, as symbolic generalizations, exemplary and models, has a huge analytical potential to think about mathematics functioning in physics and its teaching. A comparative analysis is carried from two books, PNLD 2018 and a higher education manual. Through Kuhn's approach, and based on the analyzed material it is understood that the First Law of Thermodynamics is intrinsically related to mathematics' role in physics as scientific education, in basic education as in the physician formation. Differences are observed in the way the symbolic generalizations (verbal and equational language) regarding the First Law of Thermodynamics are presented in different textbooks, the way they are understood, in the relation with the exemplary and the relation to the models. Simultaneously, it was possible to observe that mathematics has a fundamental role in physics's scientific language according to Thomas Kuhn's concept. It appears in the symbolic generalizations, related to the lexicon, exemplary and models. It is concluded that physics's learning of the scientific language happens among the relation between the elements of the disciplinary matrix among each other, elements that establish a relation amid the lexicon and the world through its use; these elements can present and establish different relations in different textbooks. This relation between mathematics and the scientific language suggested by Kuhn shows in the textbooks in structures in higher and basic education. With variations regarding mathematics's profundity implied in higher education's textbook and the goal presented by each one. It was possible to observe that similar characteristics involved in different levels and the learning objectives of the scientific language of the First Law of Thermodynamics can be an obstacle in the triad student-scientific language- mathematics. Meaning that by using the disciplinary matrix's elements in a classroom with the basic education's textbook the student is led to replicate the same path traced in a physicist's education, where in reality the objective is otherwise.

Keywords: scientific language, physics math, lexicon, disciplinary matrix.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo cinético molecular no livro Ser Protagonista	63
Figura 2 - Modelo cinético molecular no livro Física em Contexto	64
Figura 3 - O modelo cinético molecular explícito no Halliday	65
Figura 4 - Léxicos da Primeira Lei da Termodinâmica na introdução ao tema	66
Figura 5 - Léxicos presentes na definição da Primeira Lei da Termodinâmica	67
Figura 6 - Léxico em forma de simbolismos matemáticos	69
Figura 7 - Léxico no livro física em contexto	70
Figura 8 - Léxico no manual Halliday	70
Figura 9 - Generalização simbólica não interpretada	71
Figura 10 - Generalização simbólica não interpretada	72
Figura 11 - Definição e generalização simbólica equacional da Primeira Lei da Termodinâmica no manual didático	73
Figura 12 - Generalização simbólica interpretada nas transformações térmicas	74
Figura 13 - Generalização simbólica interpretada nas transformações térmicas	76
Figura 14 - Exemplos do estilo resolução de problemas lógicos matemáticos no livro Ser Protagonista	77
Figura 15 - Exemplos do estilo resolução de problemas lógicos matemáticos no livro Física em Contexto	78
Figura 16 - Exemplos do estilo resolução de problemas lógicos matemáticos no manual didático Halliday	79
Figura 17 - Exemplo como forma de introdução a discussão do tema físico	80
Figura 18 - Exemplo com a generalização simbólica verbal	82
Figura 19 - Exemplos na forma de exercícios propostos no livro Física em Contexto	83
Figura 20 - Exemplos na forma de exercícios propostos no livro Ser Protagonista	84
Figura 21 - Exemplos na forma de exercícios propostos no manual didático Halliday	84

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OS CAMINHOS ATÉ A DISSERTAÇÃO...	15
1.2	PESQUISA	17
1.3	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
2	A LINGUAGEM CIENTÍFICA E A MATEMÁTICA DA FÍSICA À LUZ DA EPISTEMOLOGIA DE THOMAS KUHN	26
2.1	INTRODUÇÃO	27
2.2	OS ASPECTO CENTRAIS DA EPISTEMOLOGIA DE THOMAS KUHN	28
2.2.1	AS COMUNIDADES CIENTÍFICAS	33
2.3	RELAÇÃO LINGUAGEM/MUNDO E CONHECIMENTO FÍSICO	37
2.4	A MATEMÁTICA NA FÍSICA A PARTIR DA TEORIA KUHNIANA	42
2.4.1	O PROCESSO DE INTERPRETAÇÃO	46
2.5	ENSINO DE FÍSICA E MATEMÁTICA: CONSIDERAÇÕES A PARTIR DA TEORIA KUHNIANA	47
2.6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
3	ANÁLISE DOS LIVROS: RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
3.1	INTRODUÇÃO	57
3.2	OS LIVROS DIDÁTICOS E A PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA	59
3.3	ANÁLISE DOS LIVROS	61
3.3.1	MODELOS	61
3.3.2	LÉXICO	66
3.3.3	GENERALIZAÇÕES SIMBÓLICAS	70
3.3.4	EXEMPLARES	75
3.4	OS ELEMENTOS DA MATRIZ DISCIPLINAR, O LÉXICO E A MATEMÁTICA DA FÍSICA	79
3.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85

4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
4.1	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93

1 INTRODUÇÃO

1.1 OS CAMINHOS ATÉ A DISSERTAÇÃO...

Nasci e fui criado em uma cidade no oeste de Santa Catarina (Concórdia). Tive pais presentes que, com muito esforço e trabalho braçal, deram-me todas as condições para estar onde estou hoje. Estudei minha vida inteira em escola pública e tive uma criação tradicional de família que reside no interior. Almoço em família aos domingos, ir à missa aos sábados...

Herdei uma paixão vinda de meu pai: o futebol. Sou apaixonado pelos meus times e por praticar o jogo. À medida que fui me desenvolvendo, acabei me apaixonando por outro esporte com bola, mas, com uma bola oval: o futebol americano. Acompanho os jogos, times que eu torço, os jogadores, as notícias da liga e também os artigos sobre o jogo de xadrez que é a NFL.

Meu crescimento foi moldado por uma família presente e minha paixão pelos esportes. Nunca fui o aluno nota 10, mas, quase sempre, estive um pouco acima da média.

No ensino médio, treinava nas categorias de base da Associação Concordeense de Futsal (ACF). Participei de todos os campeonatos do estado (OLESC, JESC, Joguinhos, Estadual de Futsal) ou seja, a escola nunca foi minha prioridade, sonhava em ser jogador.

No entanto, sou de família humilde, nunca me faltou nada em casa e nem fora dela, porém, tive que parar de jogar, por não ter um retorno financeiro significativo, e começar a trabalhar. Neste ponto, não estava mais certo do que queria da minha vida. Até então, o único plano possível, havia falhado.

Na época, eu tinha alguns parentes próximos que trabalhavam com construção civil, o que me fez estudar um curso de Desenhista da Construção Civil com duração de meio ano. Acabei pegando gosto pela coisa e disse para mim mesmo que seria Engenheiro Civil.

Todavia, não tinha prestado nenhum vestibular, nem tinha condições financeiras de arcar com estudos em uma faculdade particular. Foi então que, no trabalho, conheci um amigo que me informou que no Instituto Federal Catarinense – campus Concórdia havia vagas remanescentes no curso de Física-licenciatura.

Entrei no curso com o objetivo de poder estudar cálculos e disciplinas de física para, no futuro, estar adiantado quando entrasse em uma graduação de Engenharia Civil.

Por ser uma região onde o curso Física-licenciatura nem sempre atingia as expectativas dos estudantes que ingressavam (muito pelo seu caráter voltado somente à docência), havia muita evasão de alunos e isso, fazia com que os professores do curso o tornasse o mais humano e atencioso possível, para que, quem estivesse lá, sentisse que estava acolhido e que valia a pena.

Foi com eles que aprendi sobre um ensino mais humano e todas as outras possibilidades de ensino que não a que chamamos de tradicional. Além de me dar conta de que a disciplina que eu ensinaria era um tabu para grande maioria dos estudantes do ensino básico.

Fiz determinadas atividades extraclasse das disciplinas como professor. Algumas dessas experiências me fizeram abrir os olhos e não perceber mais o curso como uma fonte secundária de ensino, e sim como a profissão que eu poderia exercer.

Quanto mais tempo passava, mais eu me apaixonava, tanto pelo ensino, quanto pela física. Com o apoio do corpo docente, da família e dos amigos, senti que era aquilo que eu queria para minha vida.

Participar dos processos educativos de uma disciplina que nem sempre é bem vista na escola, pelos estudantes, mas que, quando compreendida, conseguia se conectar com eles de uma maneira que, ao meu ver, é indescritível. É aquele sentimento de dever cumprido.

Ser responsável por isso e receber relatos dos alunos sobre o quão bom era estudar física era uma das doses de endorfina que recebia durante as atividades como docente.

Essas atividades, que nem sempre foram positivas e que muitas vezes levantaram pontos de interrogação em minha cabeça, também ajudaram a construir o professor que sou hoje.

Durante o processo de docência, algumas coisas me intrigavam, dentre elas, o papel da matemática na física, que, pelo menos nas minhas aulas, era uma das principais dificuldades dos estudantes. Entender que ela não era apenas uma ferramenta para a física, mas parte constituinte da própria linguagem da natureza me deixava cheio de dúvidas.

E poder fazer uma pesquisa que pudesse ajudar de alguma forma minha prática como docente, além de tentar facilitar essa relação para meus alunos, foi o que me motivou a desenvolver e escrever esta dissertação.

Acredito que o que faz cada pesquisa ser única, além da rigidez acadêmica, são os caminhos que cada pessoa traçou até chegar à tese. Suas histórias, culturas e relações sociais

estabelecem uma marca única em cada pesquisa. E a presente pesquisa não poderia levar meu nome se eu não pudesse deixar registrados os caminhos que me trouxeram até aqui.

1.2 PESQUISA

Com base no exposto, sobre as relações de docente e estudante de graduação, surgiu o interesse de entender mais sobre a relação entre a matemática e a física. Em busca de trabalhos que poderiam somar no entendimento do tema, notou-se de antemão que não seria fácil encontrar pesquisas que abordassem tal problemática.

No anteprojeto escrito para o Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica (PPGECT) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) foi proposta uma revisão bibliográfica acerca da matematização do ensino de física, justamente pela pouca quantidade de trabalhos sobre o tema.

Logo na entrevista, o professor Dr. Henrique Cesar da Silva (hoje orientador deste trabalho) expôs inúmeras perguntas sobre o conhecimento do tema e as possibilidades de abordagem para uma pesquisa.

Após a aceitação no programa, foi necessário conhecer melhor a linha de pesquisa do professor Henrique e do grupo FLUXO (Circulação e Textualização da Ciência e Educação Científica), da qual não se tinha nenhuma familiaridade e iniciou-se uma busca da abordagem para o tema e configuração de uma problemática.

Depois de alguns meses de reflexões e estudos bibliográficos, de reuniões semanais no grupo de pesquisa FLUXO, leituras sobre as diferentes formas de linguagem em que a ciência se manifesta e reuniões individuais, decidiu-se por abordar a física através da sua estruturação matemática.

O presente trabalho entrou em um campo do ensino de física ainda pouco explorado. Segundo Concheti (2015), em um levantamento de 3619 trabalhos dos eventos do SNEF (Simpósio Nacional de Ensino de Física) e EPEF (Encontro de Pesquisa em Ensino de Física) dentre os anos de 2003 a 2013 foram encontrados apenas 36 trabalhos que relacionavam o ensino de física e a matemática. Dentre as principais abordagens de pesquisas, conforme a autora, estão a relação com a resolução de problemas, o conhecimento matemático e a aprendizagem de estudantes no sentido de entender a sua importância no contexto do ensino

de física e uma análise histórica e/ou epistemológica no sentido de construção do conhecimento físico.

Almeida (1999) considera a linguagem matemática da física como envolvida na representação da realidade, assim como a linguagem comum, defendendo a importância de um trabalho contínuo e paralelo com ambas as linguagens no ensino de física. A questão da linguagem matemática seria fundamental, pois diz respeito, entre outros aspectos, à questão das possibilidades de acesso das pessoas ao conhecimento científico no campo da Física.

Pietrocola (2002) e Karam (2012) baseiam-se na perspectiva de que a linguagem matemática possui um caráter estruturante do pensamento na física e que ela, com suas especificidades participa do processo de construção da ciência não apenas como mera ferramenta de comunicação e expressão, mas estruturando o pensamento com o qual a física compreende a realidade.

Ataíde (2012), por sua vez, optou por uma abordagem da questão da matematização na física com base teórica na psicologia cognitiva e seu trabalho teve como objetivo entender como os estudantes do curso de licenciatura em física enxergam a construção dos conceitos físicos norteados pela matemática, mais precisamente na primeira lei da termodinâmica. Concluiu que existe uma forte relação entre a visão que o estudante tem do papel da matemática na física e o seu desempenho na resolução de problemas.

Tanto Karam (2012) quanto Ataíde (2012) tiveram como material empírico de análise aulas no ensino superior. Karam (2012) baseou suas análises em aulas de graduação ministradas por um professor experiente. Ataíde (2012) planejou um estudo de caso com diversas atividades que envolvia a resolução de problemas e trabalhou com turmas do curso de licenciatura em Física, analisando suas próprias aulas.

Essas pesquisas trazem importantes contribuições sobre a questão da matematização na física e no seu ensino, contudo, por se tratar de um assunto complexo, requer uma maior demanda de pesquisas e abordagens dessa temática, visto que ela é uma problemática recorrente no ensino de física, dada a dificuldade dos estudantes em entender os conceitos físicos quando norteados pela matemática (KARAM, 2012).

Serão discutidas as diferentes abordagens utilizadas por esses e outros autores em suas respectivas pesquisas sobre a matematização da física. Esse processo é de grande importância no sentido de entender o que se tem debatido e pensado dentro da academia e nas escolas que envolvem matemática e física.

Nesta perspectiva, há a importante contribuição do grupo FLUXO, do qual o autor deste trabalho participa desde o início desta pesquisa. Tem-se como objetivo analisar as relações entre linguagens e conhecimentos da ciência na perspectiva de que estes se manifestam em diferentes formas de texto, sejam audiovisuais, verbais, orais ou escritos, ou matemáticos, e como eles circulam na sociedade, não somente no campo propriamente científico. Podem ser textos de divulgação, imagens, cinema, entre outros, como também, textos didáticos (SILVA, 2014).

Essas análises se baseiam em materiais empíricos (textos) e como eles se relacionam com aspectos culturais, sociais, históricos, na sociedade, por um lado, e com a epistemologia da física, por outro. Partindo de pressupostos discursivos e epistemológicos, tais pesquisas ajudam a caracterizar a importante relação entre a circulação desses textos e a construção do conhecimento científico.

A partir dessa linha de raciocínio, a presente pesquisa baseou-se nos textos de livros didáticos de física, tanto do ensino superior (manual) quanto do ensino básico, para estabelecer a relação com a matemática da física e como ela se manifesta nesse tipo específico de textualização, pois participa diretamente da construção de processos educativos.

O Brasil conta com o Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD) que é o programa governamental competente pela regulamentação dos livros didáticos no ensino básico, segundo o guia digital do PNLD disponibilizado pelo Ministério da Educação (MEC):

Espera-se que o livro didático viabilize o acesso de professores, estudantes e famílias a informações, conceitos, saberes, práticas, valores e possibilidades de compreender, transformar e ampliar o modo de ver e fazer a ciência, a sociedade, a educação e a cultura (BRASIL, 2018, p. 9).

Segundo Carvalho (2018), ao fazer um levantamento de vários trabalhos apresentados e publicados em diversos anais e congressos sobre o ensino de física, o livro didático tem principalmente as funções de fornecer exercícios para resolução dos estudantes e servir como base para preparação de aula dos professores. Sabe-se que grande parte das aulas acabam se estruturando em suas formas e linguagens com vistas à resolução de exercícios e que a maioria desses exercícios, demanda o uso da matemática.

Essas pesquisas sugerem alguns questionamentos, como por exemplo o fenômeno da formação dos docentes na educação científica e se eles estão sendo formados para utilizar os

livros didáticos em sala de aula, além de entender quais são os critérios de escolha para utilização dos mesmos.

Assim, se o objetivo é compreender o funcionamento da matemática no ensino de física, a análise da relação desses livros com essa linguagem torna-se relevante.

Contudo, o foco deste trabalho não passará pela análise da formação docente para fins de utilização do livro didático, mas sim, adentrará outro âmbito: o da matematização como componente do conhecimento físico presente no ensino por meio do livro didático.

Através do exposto, emerge dessa problemática a necessidade de uma análise da matemática na física presente nos livros didáticos e manuais de física utilizados no seu ensino. Assim, esta pesquisa buscou contemplar algumas das problematizações da matemática no ensino de física de modo a contribuir com a pesquisa em educação básica por meio da análise de um tipo de texto cuja presença e influência como modelo são marcantes nas práticas mais características do ensino de física.

Nessa perspectiva, e com o pressuposto de que o livro didático é um dos principais – se não o principal – instrumentos de socialização do conhecimento científico em sala de aula, eis a primeira pergunta de pesquisa:

Qual o papel da matemática da física presente nos livros didáticos e manuais do ensino superior como componente formativo do ensino de física?

A tentativa de responder essa pergunta basear-se-á na teoria epistemológica proposta por Thomas Kuhn. Esse autor estabelece que a produção do conhecimento físico está intimamente ligada à pedagogia científica utilizada em sua formação, no sentido de que os processos de sua produção estão determinados pela formação do cientista e vice-versa (KUHN, 1987). De fato, ideias desse autor vêm sendo mobilizadas para pensar esta temática (BALLESTERO, 2014; MANNRICH, 2014). A abordagem do conhecimento físico de Kuhn fornece não apenas uma concepção da qual se podem derivar elementos importantes sobre a matematização na física, como inclui também aportes importantes sobre as práticas pedagógicas (KUHN, 1987), notadamente aquelas voltadas para a formação do físico enquanto cientista, enquanto futuro membro de uma comunidade.

Mannrich (2014), em sua dissertação de mestrado, analisou em sua pesquisa, com base em Thomas Kuhn e outros autores, em uma disciplina de Metodologia e Prática do

Ensino de Física do 7º período, a reflexão dos licenciandos perante a diferentes papéis que a linguagem matemática da física assumia no ensino, pressupondo que essa reflexão seja importante para sua formação. Destacou-se a não unanimidade em apontar os motivos que levam a presença da matemática na física e uma reflexão sobre uma formação paradigmática (KUHN, 2011) que induz a utilizá-la, principalmente na resolução de problemas.

Em sua tese de doutorado, Ballesterio (2014) deu continuidade à sua dissertação de mestrado, no sentido de observar através de uma análise de três alunos da pós-graduação a aprendizagem significativa baseada nos estudos de Ausubel e na teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird. Assumiu a matematização da física como linguagem matemática partindo dos estudos de Thomas Kuhn. Desta forma, ele concluiu que dois dos estudantes analisados conseguiram chegar à aprendizagem significativa representacional dos signos da linguagem física e um deles permaneceu nas relações formais da física.

Nessa perspectiva, e seguindo essa linha de pensamento, existe um esforço para entender as relações da física com a matemática de forma a compreender suas complexas relações com a educação e esta ciência.

Kuhn aparece como um referencial epistemológico interessante por possibilitar entender a matematização da física como fruto da linguagem e estabelecer essa relação com a educação visto que a produção do conhecimento científico em Física tem relação com a forma da educação científica nesta área e, simultaneamente, com a formação de comunidades para trabalhar com as regras implícitas da ciência normal (KUHN, 1987), como discutiremos no capítulo 1.

A partir dos conceitos da matriz disciplinar, como: generalizações simbólicas, exemplares e modelos (KUHN, 1987, 2011) buscou-se a realização de uma análise envolvendo a matemática no ensino de física no nível básico para contribuir com a área de pesquisa em uma temática, como será apontado, ainda pouco explorada pela pesquisa.

A iniciativa de tomar como referencial teórico-metodológico os trabalhos de Kuhn teve por objetivo partir dos estudos da própria ciência, e particularmente da física, no que diz respeito à ligação entre linguagem e mundo.

Também no livro *A estrutura das revoluções científicas*, mas, principalmente, nos anos que sucederam essa publicação, Kuhn desenvolveu sua obra com base no processo do conhecimento científico como um jogo de linguagem/mundo em que os integrantes das

comunidades compartilham a mesma linguagem (nesse caso, linguagem da física) e a utilizam para explicar a realidade (KUHN, 2011).

Portanto, o processo de formação dos cientistas passa a ser formar um indivíduo que consiga fazer uso dessa linguagem para explicar o mundo, como futuro membro dessa comunidade. De modo que durante sua formação, ele utilize, inconscientemente, os elementos compartilhados pela comunidade em diferentes situações, ostensivamente. Nesses elementos, no caso da física, a matemática é sempre e invariavelmente presente.

Nesse sentido, a utilização do livro didático e manual de física tem importante papel na formação, pois além de resumir nela os paradigmas aceitos, leva consigo diferentes abordagens de problemas da natureza. Ou seja, “resolver problemas é aprender a linguagem de uma teoria e adquirir o conhecimento da natureza embutido nessa linguagem” (KUHN, 2006, p. 209).

Kuhn, em sua teoria, traz reflexões sobre como a produção do conhecimento científico ocorre, com os conceitos de comunidade científica, paradigma e ciência normal. Uma comunidade científica é composta por pessoas que compartilham compromissos (elementos da matriz disciplinar) e se comunicam sobre seu campo de estudos sem dificuldade, o que faz com que trabalhem dentro de um paradigma e produzam conhecimento científico no processo denominado ciência normal (KUHN, 1987).

Diante do exposto, Kuhn enfatiza como essas comunidades científicas são formadas, segundo o autor:

[...] Uma comunidade científica consiste dos profissionais de uma especialidade científica. Unidos por elementos comuns em sua educação e aprendizado, consideram-se e são considerados responsáveis pela busca de um conjunto de objetivos compartilhados, entre eles a formação de seus sucessores. (KUHN, 2011, p. 314).

Com a preocupação sociológica sobre a formação de uma comunidade científica, migrando para a área da educação científica, Kuhn (ANO) estabelece alguns compromissos compartilhados que o cientista em formação passa a assumir durante sua formação de forma inconsciente.

Dentre suas reflexões sobre esse processo da educação científica, o manual de ensino superior tem um importante papel na formação do futuro membro de uma comunidade científica que irá trabalhar na ciência normal sob influência do paradigma vigente.

Segundo Kuhn (1987, p. 71) “[...] o processo de aprendizado de uma teoria depende do estudo das aplicações, incluindo-se aí, a prática na resolução de problemas, seja com lápis e papel, seja com instrumentos num laboratório”.

Nessa perspectiva, o manual possui características que fazem com que o estudante e futuro membro da comunidade se forme e produza conhecimento seguindo os paradigmas vigentes no seu campo de estudos, ou seja, seguindo uma linguagem, uma forma de relação específica entre palavras, conceitos, categorias e o mundo (KUHN, 1987).

O presente trabalho tem como objetivos de pesquisa: 1- Compreender a matemática da física a partir da epistemologia de Thomas Kuhn e sua noção de linguagem científica; 2- Buscar as características da linguagem científica kuhniana nos livros didáticos de física do ensino médio, como na presença da matemática nesta linguagem; 3- Derivar implicações sobre o caráter formativo dos livros didáticos de física com base nas análises e em pesquisas bibliográficas sobre a utilização dos livros em sala de aula.

Nessa perspectiva, é possível desdobrar a pergunta supracitada em outras duas:

As características do manual científico, voltados para a formação de físicos, tal como apontadas por Kuhn, no que diz respeito à linguagem da física, e particularmente na sua relação com a matemática, podem ser encontradas nos livros didáticos de física de ensino médio? E qual a implicação dessas características na configuração da formação básica do estudante em nível escolar?

A relação pressuposta neste trabalho entre a matemática da física no seu ensino e a mobilização de elementos da MD de Kuhn para sua análise se baseia na percepção de Kuhn sobre a produção do conhecimento científico ter uma relação com a educação científica, ou seja, a formação dos futuros praticantes da ciência normal. O autor percebe a ênfase na utilização de manuais nessa formação acadêmica, ou seja, textos com características específicas, buscando atribuir a eles o lugar onde o produto da ciência é disposto para a formação de novos integrantes das comunidades científicas (KUHN, 2011).

Esses manuais por sua vez têm as características dos componentes da MD. Além disso, as noções de generalizações simbólicas, de exemplares e modelos estão articuladas entre si e a uma concepção de linguagem de natureza epistemológica, revelando-se, assim, um referencial com grande potencial analítico para pensar a física, seus textos e seu ensino.

O capítulo 2 foi destinado ao referencial teórico e metodológico deste trabalho, ou seja, a concepção de linguagem científica, aplicada à física, presente nos trabalhos de Thomas Kuhn. Além disso, as concepções de matematização da física encontrada na literatura e na linguagem científica de Kuhn. Foi apresentado os principais conceitos de sua abordagem na produção do conhecimento físico, articulados com sua concepção de linguagem científica, do que se derivaram as categorias de análise empírica desta pesquisa. O capítulo 3 será destinado à apresentação da matemática da Primeira Lei da Termodinâmica contida em livros didáticos e em um manual a partir das noções de linguagem científica de Kuhn.

Desta forma, é válido ressaltar que um dos elementos principais da matriz disciplinar de Kuhn não será focado nessa primeira aproximação das análises: os valores. Pretende-se retornar com esse foco em um trabalho futuro, visto que ainda há caminhos a serem explorados neste trabalho.

Nessa perspectiva, espera-se que a abordagem proposta pela pesquisa possa contribuir com a problemática da matematização da física no ensino de física e encontrar subsídios para um aprofundamento no debate dentro da sala de aula.

Os próximos passos do trabalho são aprofundar a pesquisa da matemática na Primeira Lei da Termodinâmica. Partindo de uma perspectiva histórica, buscar evidências sobre a construção da matematização da Lei em questão.

1.3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M. J. P. M. **Linguagens comum e matemática em funcionamento no ensino de física**. II Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Valinhos-SP. 1999.

BRASIL. **Guia PNLD Literário 2018**. Ministério da Educação. Brasília. 2018.

CARVALHO, C. **Do livro didático de física do ensino superior ao do ensino médio: influências, aproximações e afastamentos**. 179p. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

CONCHETI, A. F. **A pluralidade da relação entre a física e a matemática em um curso inicial de licenciatura em física**. 128p. Dissertação (mestrado). Universidade de São Paulo, São Paulo. 2015.

KARAM, R. A. S. **Estruturação matemática do pensamento físico no ensino: uma ferramenta teórica para analisar abordagens didáticas**. 292 f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

KUHN, T. S. **A Tensão Essencial**. São Paulo: Editora da Unesp, 408 p, (2011) [1977/1974]

KUHN, T.S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo, Perspectiva, (1987) [1969]

KUHN, Thomas et al. On Learning Physics. **Science and Education**, v. 9, p. 11-19, 2000.

KUHN, Thomas S. **O caminho desde a estrutura**. Editora da Unesp, 2006.

MANNRICH, J. P. **Linguagem matemática, Física e Ensino: como licenciandos discutem essa relação**. 258 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

2 A LINGUAGEM CIENTÍFICA E A MATEMÁTICA DA FÍSICA À LUZ DA EPISTEMOLOGIA DE THOMAS KUHN

Resumo:

O presente artigo busca explicitar as principais ideias de teoria de Kuhn no âmbito da linguagem científica e como essas fazem relação com o mundo. Os conceitos da Matriz Disciplinar (MD) e léxico compõem parte fundamental da teoria da linguagem de Kuhn. As relações aqui apresentadas buscaram viabilizar uma reflexão sobre a matemática composta no âmbito da educação científica. Através de seus apontamentos sobre o desenvolvimento da ciência normal e da renovação dos membros de uma comunidade científica. Através de seus escritos foi possível refletir sobre o círculo em que a ciência perpassa durante os anos desde a formação dos cientistas até o trabalho de resolução de problemas que eles fazem. A linguagem está presente em todo esse processo, não como efeito colateral, mas, na construção das concepções, leis e teorias científicas. As características dos componentes da MD e do léxico tornam-se base também para a linguagem assumir caráter matemático onde é pautada a física.

Palavras-chaves: Linguagem científica; Matriz Disciplinar; Léxico.

2.1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho busca explicitar as ideias de Thomas Kuhn que funcionaram como apoio teórico-metodológico para entender as relações da matemática com a física, particularmente a partir dos elementos da matriz disciplinar (MD) e da noção de linguagem científica (léxico), visando constituir subsídios para pensar o papel dessa linguagem no ensino de física a partir da análise de textos dos livros didáticos e manuais.

Ao longo de suas publicações e após a publicação do livro “A estrutura das revoluções científicas”, foi se concretizando a intenção de Kuhn em explicar a natureza do desenvolvimento científico através de algumas explanações sobre a linguagem que os futuros membros de uma comunidade científica adquirem para assim poderem produzir suas pesquisas como ciência normal, ou seja, de modo paradigmático.

Para expor como a obra de Kuhn relaciona linguagem e conhecimento científico em física, ter-se-á como base principalmente no livro *O caminho desde A Estrutura* (KUHNS, 2017) que traz uma coletânea de ensaios sobre a natureza do conhecimento científico em física, escritos entre 1970 e 1993, após, portanto, a sua mais conhecida e citada obra *A Estrutura das Revoluções Científicas*, publicada originalmente em 1962, e, em uma 2ª edição em 1969 com direito a um posfácio esclarecedor a respeito de algumas críticas referentes à sua primeira versão. Posfácio, no qual aparece a noção de matriz disciplinar.

A questão abordada por este artigo está em compreender como a linguagem aparece na epistemologia de Kuhn nos desdobramentos de suas pesquisas após- *A estrutura*, para explicar o desenvolvimento da ciência normal, a formação de novos membros das comunidades científicas e que implicou numa ressignificação do que seria uma revolução científica através de considerações sobre a linguagem científica que os membros de uma comunidade científica compartilham: “A violação ou distorção de uma linguagem científica anteriormente não problemática é a pedra de toque para a mudança revolucionária” (Kuhn, 2017, p. 45).

Dentre esses desdobramentos está o que Kuhn denominou por léxico. Esta noção estabelece que os membros de uma comunidade científica, além de compartilharem os valores e práticas compostas no que Kuhn denominou de *Matriz Disciplinar (MD)*, compartilham também um vocabulário (léxico) próprio que é fundamental no desenvolvimento da ciência normal realizado pela comunidade em questão.

O léxico também desempenha um importante papel na estrutura do paradigma, como se fosse um quarto elemento da MD, pois, ao mesmo tempo que ele é compartilhado pelos membros da comunidade, também tem relação com as generalizações simbólicas e com os exemplares no entendimento físico do mundo.

Uma das questões fundamentais que perpassam estes ensaios de Kuhn diz respeito a como se relaciona a linguagem e mundo, linguagem e realidade, a partir de uma abordagem que buscou superar a teoria da correspondência.

Esse capítulo será responsável pela base teórica das análises posteriores da matematização da física em livros didáticos e manuais de física.

Antes de dar início às ideias de matriz disciplinar de Thomas Kuhn que demonstrarão as categorias textuais da análise tais como as generalizações simbólicas, exemplares, modelos e o léxico, faz-se necessário um breve contexto da extensa obra epistemológica do autor, além de expor a noção de comunidade científica que para Kuhn é o ponto fundamental de sua abordagem epistemológica.

Para que possam ser melhor expostos e compreendidos os pontos da pesquisa proposta através da abordagem epistemológica kuhniana, o presente artigo estará dividido em tópicos que explicitam os principais pontos de sua teoria, além de levantar as ideias que este ensaio se preocupa em demonstrar. No entanto, não é possível colocar as ideias de Kuhn em caixas sem que às vezes se faça necessário abordar em um tópico pontos de outro tópico. Assim, essas relações serão feitas sempre que for pertinente e um elemento da teoria se não foi detalhado num momento, o será posteriormente.

2.2 OS ASPECTOS CENTRAIS DA EPISTEMOLOGIA DE THOMAS KUHN

Nesta seção, serão apresentados os aspectos gerais da teoria kuhniana que servirão como base para as próximas partes deste artigo. Usando como base *A estrutura das revoluções científicas* para demonstrar o escopo da sua teoria e posteriormente citando como a sua percepção de desenvolvimento científico foi se modificando ao longo dos anos com suas novas obras.

A obra de Thomas Kuhn é uma das grandes realizações epistemológicas e historiográficas do último século, seu trabalho contribuiu para uma nova visão de

desenvolvimento científico bem como pensamentos e visões de história, sociologia e filosofia da ciência.

Instigado a pensar sobre os processos científicos, dedicou grande parte da sua vida a entender como ocorre o processo de construção científica através da história, filosofia e sociologia da ciência. Sua visão de ciência trouxe contribuições significativas em muitos âmbitos científicos até então não muito explorados (MORAES, 2017).

Em 1962, publicou sua obra mais conhecida *A estrutura das revoluções científicas*, na qual propôs uma crítica à visão de ciência cumulativa, à história linear e estabeleceu os principais pontos de sua teoria da ciência: 1- a noção de ciência normal; 2- a noção de paradigma e 3- a de revoluções científicas (OSTERMANN, 1996).

Suas ideias referentes ao que ele denominou de ciência normal estabelecem os contornos pelos quais a prática científica costuma seguir, historicamente. Segundo Kuhn (1978, p.30), “Homens cuja pesquisa está baseada em paradigmas compartilhados estão comprometidos com as mesmas regras e padrões para a prática científica”.

São esses valores e práticas compartilhados entre os membros de uma comunidade científica que permitem a produção de conhecimentos dentro da ciência normal (KUHN, 1987).

Nessa perspectiva, a ciência normal se comporta como guia de uma comunidade científica, de forma regular (mas, não linear) durante um determinado período, onde através do paradigma, são levantados os problemas estilo quebra-cabeça sobre os quais o cientista se empenhara em suas pesquisas: “A ciência normal pode avançar sem regras somente enquanto a comunidade científica relevante aceitar sem questões soluções de problemas específicas já obtidas (KUHN, 1987, p.72)”.

Os problemas estilo quebra-cabeça fazem parte da construção da ciência no que tange às relações entre conhecimento e mundo. É em busca de respostas para os problemas estilo quebra-cabeça que os cientistas concentram seus esforços durante o período de ciência normal (KUHN, 1987).

Durante o período de ciência normal, as comunidades científicas trabalham dentro do seu campo de estudo e com seus paradigmas ou conjunto de paradigmas mantendo o foco, e trabalhando coletivamente, nas resoluções de problemas delimitados por eles (paradigmas). Segundo o autor:

Ao concentrar a atenção numa faixa de problemas relativamente esotéricos, o paradigma força os cientistas a investigar alguma parcela da natureza com uma profundidade e de uma maneira tão detalhada que de outro modo seriam inimagináveis (KUHN, 1987, p.45).

Nesse aspecto, há de se imaginar que os paradigmas nem sempre foram os mesmos. Isso inclui um outro conceito marcante na obra kuhniana o qual denominou de revoluções científicas.

A partir do momento em que surgem anomalias, momento em que um paradigma não é mais capaz de solucionar problemas, a comunidade científica passa por um período de crise em busca de respostas aos novos problemas levantados. Os problemas já aceitos como soluções reconhecidas pela comunidade não servem mais de modelos a serem aplicados a essas novas situações específicas. “Quanto maiores forem a precisão e o alcance de um paradigma, tanto mais sensível este será como indicador de anomalias e, conseqüentemente de uma ocasião para a mudança de paradigma (KUHN, 1987, p.92)”.

Após o período de turbulências estabelecido pelas anomalias sem respostas, a comunidade científica passa por um período de crise paradigmática, onde a busca por respostas ocasiona disputas que escapam à estabilidade da ciência normal para o prosseguimento das pesquisas naquele campo (KUHN, 1987).

Esse momento gerará o que Kuhn denominou de revolução científica. Segundo o autor, “[...] consideramos revoluções científicas aqueles episódios de desenvolvimento não-cumulativo, nos quais um paradigma mais antigo é total ou parcialmente substituído por um novo, incompatível com o anterior (KUHN, 1987, p.125)”.

Esse movimento ocorre por conseqüência de uma necessidade de escolha entre teorias concorrentes em meio a uma crise.

As crises demonstram as incompatibilidades científicas dentro de uma determinada comunidade. No entanto, para se denominar crise, essas incompatibilidades são avaliadas por muitos critérios rigorosos que levantam a questão da legitimidade do paradigma vigente e se ele de fato corresponde aos valores da prática científica (KUHN, 1987). Alguns dos valores, e que posteriormente, tornar-se-ão valores compartilhados, então são alterados.

A “escolha” de um novo paradigma feita pela comunidade científica faz com que o antigo seja completamente ou parcialmente abandonado, seus procedimentos agora serão renovados e posteriormente criados novos mecanismos e instrumentos para pesquisa possibilitados pelo novo paradigma (KUHN, 1987).

Em suma, o desenvolvimento do conhecimento científico (ciência normal) se refere a uma prática e valores compartilhados de períodos paradigmáticos que tendem a se estabilizar enquanto o paradigma dita e responde às questões de pesquisa levantadas pela comunidade. Essa prática entra em crise quando surgem problemas que o atual paradigma e toda sua conjuntura comunitária científica não conseguem responder, o que ocasiona um período de crise e posteriormente uma revolução científica (KUHN, 1987).

Nessa perspectiva, a visão de mundo (de realidade) do cientista deve mudar também, a sua interpretação do mundo deve acompanhar a mudança do paradigma. O mesmo conjunto de dados encontrados anteriormente não pode mais ter a mesma interpretação, isso não significa que ele deve duvidar de todas as teorias até então aceitas pela ciência, mas que sua concepção dos procedimentos e interpretações deve ser alterada (KUHN, 1987).

Ou seja, as revoluções científicas além de alterarem o paradigma em que a própria ciência se construía até então, tem um caráter formativo no pensamento do cientista em sua prática, são tempos para mudar a perspectiva de trabalho e se adequar a uma nova realidade.

No entanto, os conceitos precedentes trazem a visão de Kuhn na segunda versão do seu mundialmente famoso livro. Com o passar dos anos e com suas regulares contribuições, produzidas em profundos debates e como respostas a críticos, Kuhn passou a interpretar as revoluções científicas dando uma ênfase maior à revolução como mudança de linguagem (KUHN, 2006).

Segundo ele, uma revolução tem também como característica a mudança no sentido das palavras com seu referente, ou seja, com a ligação que fazem com o mundo.

[...] de modo geral, o caráter distintivo da mudança revolucionária na linguagem é que ela altera não apenas os critérios pelos quais os termos se ligam à natureza, mas também, por extensão, o conjunto de objetos ou situações a que esses termos se ligam (KUHN, 2006¹, p.42).

Ou seja, em uma revolução científica, os objetos e fenômenos ligados a um paradigma anterior são modificados de modo que não somente sua interpretação se modifica, mas, sua linguagem também.

Se estou certo, a característica principal das revoluções científicas é que elas alteram o conhecimento da natureza intrínseco à própria linguagem, e que é, assim, anterior

¹ Este ensaio presente em Kuhn (2006) foi publicado originalmente em 1987, mas apresentado num congresso em 1981. (cf. Kuhn (2006), p. 23)

a qualquer coisa que seja em absoluto caracterizável como descrição ou generalização científica ou cotidiana (KUHN, 2006, p.44).

Kuhn ainda salienta que muitas das revoluções científicas estão ligadas não somente a mudanças de paradigmas, como também à mudança de léxicos presentes na comunidade, tal qual “O que fez Einstein: mostrou que a simultaneidade era relativa ou alterou a própria noção de simultaneidade?” (KUHN, 1987, p.228).

Desta forma, há uma ênfase no que provavelmente é o principal conceito do livro de 1962, que além de determinar como a ciência normal deve operar, estabelece as diretrizes para a produção do conhecimento científico e suas transformações: os paradigmas (KUHN, 1987).

Estes estão dispostos no escopo científico e de certa forma na educação científica de modo que orientam a formação acadêmica do cientista na sua prática como futuro membro de uma comunidade científica (KUHN, 1987).

São os paradigmas, os responsáveis por apresentar aos futuros praticantes da ciência normal os problemas que devem ser resolvidos, os modelos (de soluções) a serem seguidos e as respostas a serem encontradas.

Para Kuhn (1987, p. 219) “Um paradigma é aquilo que os membros de uma comunidade partilham e, inversamente, uma comunidade científica consiste em homens que partilham um paradigma”.

No entanto, a noção de paradigma sofreu duras críticas nos anos que seguiram à primeira publicação de *A estrutura das revoluções científicas* em 1962. Principalmente por esse motivo, Kuhn ao republicar o livro em 1969, decidiu esclarecer algumas dessas dúvidas num Posfácio dessa segunda edição.

Dentre os esclarecimentos, Kuhn decidiu por ordenar o que são e o que significava tudo o que quis dizer sobre os paradigmas transformando em Matriz Disciplinar (MD) e separando alguns elementos que possibilitaram uma maior clareza em sua abordagem (KUHN, 1987).

Dentre os elementos da matriz disciplinar, Kuhn destaca quatro principais, são eles: Generalizações simbólicas, Exemplares, Modelos e Valores (KUHN, 1987). Todos esses elementos são compartilhados por uma comunidade científica e juntos ordenam o funcionamento da ciência normal, tal qual um paradigma.

Cada elemento possui suas próprias características, no entanto, Kuhn descreve que esses elementos por si só não fazem sentido. Eles fazem parte da estrutura comunitária da

ciência e oferecem possibilidades quando são interligados, o que se dá no âmbito da educação científica, no sentido de formação do futuro praticante da ciência normal.

Um dos reflexos disso, está no manual científico, onde pode-se encontrar vários paradigmas, conceitos, leis e teorias em consonância com a ciência então contemporânea e que são responsáveis pela formação de novos membros das comunidades científicas (KUHN, 1987).

Ainda segundo Kuhn, a textualização do manual científico é de extrema importância no que tange às relações com o ensino de ciências, segundo ele:

Referem-se a um corpo já articulado de problemas, dados e teorias e muito frequentemente ao conjunto particular de paradigmas aceitos pela comunidade científica na época em que esses textos foram escritos. Os próprios manuais pretendem comunicar o vocabulário e a sintaxe de uma linguagem científica contemporânea (KUHN, 1987, p. 174).

Ou seja, o papel do manual é também transmitir aos estudantes uma linguagem científica que dará apoio para o seguimento dos seus trabalhos.

Essa relação entre manual científico, linguagem da ciência, educação científica e os elementos da matriz disciplinar será abordada posteriormente no tópico responsável por estabelecer a conexão da teoria de Kuhn e a matemática da física. Elas estão persistentemente presentes nos trabalhos de Kuhn. Não se pode deixar de apontar desde já, uma consequência importante que parece derivar da abordagem Kuhniana: o modo como se estrutura a atividade científica tem relação com o modo como se estrutura a atividade pedagógica, ou formação, a ela vinculada. Essas estruturas são interdependentes. Por isso, Kuhn trouxe em seus trabalhos sempre alguma menção aos manuais científicos.

2.2.1 AS COMUNIDADES CIENTÍFICAS

Um dos conceitos chaves para o entendimento da estrutura das ideias de Kuhn sobre a matriz disciplinar e como essa opera na área das ciências é o de comunidade científica.

Isso porque, tudo o que foi levantado no capítulo anterior opera dentro de uma comunidade científica. Como explana o autor, “[...] uma nova versão da Estrutura começaria com uma discussão da estrutura comunitária (KUHN, 2006, p.208).”

Para Kuhn, uma comunidade científica é um conjunto de pessoas que compartilham o mesmo paradigma ou paradigmas (KUHN, 1987). Essas comunidades são características por trabalharem em uma mesma área e com objetos e objetivos de estudo em comum.

Para Minhot (2001), os participantes de uma comunidade científica são aqueles que praticam uma área específica da ciência, ou seja, são escolas que tratam de temas que são incompatíveis com as outras e sua principal característica é o juízo profissional praticamente unânime entre os membros da comunidade.

Para Ramalho (2014, p.73), “A formação de uma comunidade é um processo amplo, que implica a vinculação com uma disciplina específica capaz de agregar interessados a discutir questões que são suscitadas por ela”.

Nesse sentido, segundo Kuhn (1987, p. 221):

“O resultado disso é que os membros de uma comunidade científica veem a si próprios e são vistos pelos outros como os únicos responsáveis pela perseguição de um conjunto de objetivos comuns, que incluem o treino de seus sucessores”.

De acordo com essa visão de comunidade científica, a pedagogia científica tem suma importância na criação e manutenção da comunidade, visto que cada comunidade é responsável por formar seus membros que darão continuidade nos estudos propostos por ela.

Essa relação entre desenvolvimento da ciência normal e educação científica fica mais clara, se for analisar o que o autor descreveu sobre as práticas de resolução de problemas por meio da aplicação da teoria desenvolvida pela comunidade científica, segundo Kuhn (1987, p.71):

[...] os cientistas nunca aprendem conceitos, leis e teorias de uma forma abstrata e isoladamente. Em lugar disso, esses instrumentos intelectuais são, desde o início, encontrados numa unidade histórica e pedagogicamente anterior, onde são apresentados juntamente com suas aplicações e através delas. Uma nova teoria é sempre anunciada juntamente com suas aplicações a uma determinada gama concreta de fenômenos naturais; sem elas não poderia nem mesmo candidatar-se à aceitação científica.

Nessa perspectiva, a educação científica acaba por complementar as atividades da comunidade científica, no sentido de treinar o estudante a praticar a resolução de problemas durante sua formação, para chegar apto no trabalho da ciência normal em resolver quebra-cabeças. Durante o período de trabalho da ciência normal as aplicações surgem como

parte constitutiva da própria teoria, ou seja, não há teoria sem uma gama de aplicações. Porém, o que se chama e se identifica como “aplicações” têm um papel simultaneamente formativo e epistemológico, e se trata de um elemento no funcionamento da linguagem científica.

Essa consequência reflete na formação do cientista. Ainda segundo Kuhn (1987), o aprender do cientista durante sua formação advém do formato com que a ciência é constituída, por meios de resolução de problemas, pois o cientista da ciência normal opera como um solucionador de quebra-cabeças a partir de modelos adquiridos. Com o passar do tempo, o estudante aprende, por ostensão, a aperfeiçoar sua capacidade de resolver problemas.

Ainda há um fator importante que faz parte das comunidades científicas e que é um dos principais responsáveis pela organização dos seus membros a planejar os problemas a serem levantados e respondidos, que é a comunicação entre membros.

[...] na medida em que os indivíduos pertencem ao mesmo grupo e, portanto, compartilham a educação, a língua, a experiência e a cultura, temos boas razões para supor que suas sensações são as mesmas. Se não fosse assim, como poderíamos compreender a plenitude de sua comunicação e o caráter coletivo de suas respostas comportamentais ao meio ambiente? É preciso que vejam as coisas e processem os estímulos de uma maneira quase igual (KUHN, 1987, p.239).

A questão da comunicação será fundamental para o argumento central deste artigo, que será explicitado no último tópico, o de que a linguagem e os textos incorporam o conhecimento científico de forma a serem parte integrante do seu desenvolvimento e não apenas como produtos colaterais, secundários, a posteriori da própria produção.

Em inúmeras passagens de seus escritos, Kuhn estabelece relações entre o conhecimento produzido e a estrutura comunitária da ciência em questão. Ou seja, a forma como os membros de uma comunidade compartilham entre si os resultados obtidos em suas respectivas pesquisas. Como por exemplo: “[...] com as experiências e observações descritas nas revistas técnicas, através das quais os cientistas informam a seus colegas dos resultados de suas pesquisas em curso (KUHN, 1987, p.45 e 46)”.

Essa característica está presente não somente no âmbito mais esotérico da ciência. Como visto anteriormente, as comunidades científicas também são responsáveis por formar seus novos membros e essa formação também utiliza de tipos específicos de textos para a formação do estudante, e implica em funcionamentos específicos das linguagens em uso, no caso da física, a verbal e a matemática, principalmente.

No contexto da educação básica, essa característica é de certa forma igual, embora a função desta educação seja diferente. Em geral, livros didáticos de física para a educação básica e práticas de uso são compostos por exemplares, na forma de exercícios, problemas e exemplos de aplicação. No entanto, esse ponto será discutido apenas mais adiante, quando será demonstrada a relação da matemática na física com a noção de matriz disciplinar de Kuhn.

Nesse sentido, as comunidades científicas utilizam da comunicação com base em textos, sejam eles em revistas técnicas para que os membros saibam os avanços dentro de sua área de pesquisa, ou em manuais de física para que todos os membros possam atuar de acordo com os paradigmas vigentes e trabalhem na mesma sintonia (como parte de uma mesma comunidade).

“No caso científico, a unidade é uma comunidade de especialistas que se intercomunicam (KUHN, 2006, p. 125)”. Comunicação, portanto, tem um sentido para além da transmissão de informação. A comunicação é o mecanismo que opera o compartilhamento epistemológico necessário para o funcionamento da atividade científica em comunidade, e o mecanismo que opera a formação de seus sujeitos. As comunidades científicas compartilham toda uma estrutura profissional que faz relação com a linguagem adquirida aos seus membros, e, como será visto, com o mundo tal como concebido e compartilhado por eles. Ver-se-á ainda como, segundo Kuhn, esta linguagem é adquirida pela formação de seus futuros membros.

Kuhn ressalta que mais do que práticas e valores, uma comunidade científica é aquela que se intercomunica por meio de um léxico, ou seja, ela possui um vocabulário próprio, compartilhado para membros do grupo que não se encaixam em outro.

[...] uma unidade cujos membros compartilham um léxico que fornece a base tanto para a condução quanto para a avaliação de sua pesquisa e que, simultaneamente, ao impedir a comunicação integral com aqueles alheios ao grupo, mantém seu isolamento em relação aos praticantes de outras especialidades (KUHN, 2006, p.125).

Assim, o léxico torna-se uma característica que só pode ser entendida em sua comunidade linguística e por membros dela. O seu sentido literal e usual é compartilhado por eles como sendo o meio de comunicação que faz a engrenagem científica girar.

“Cada um desses campos tem um léxico distinto, embora as diferenças sejam locais, ocorrendo apenas aqui e ali. Não há nenhuma língua franca capaz de expressar, em

sua totalidade, o conteúdo de todos eles, ou mesmo de algum par (KUHN, 2006, p.124).”

No próximo tópico, argumentar-se-á sobre a relação entre linguagem/mundo e o conhecimento físico composta na estrutura da teoria Kuhniana. E ficará mais claro, portanto, o papel epistemológico da comunicação.

2.3 RELAÇÃO LINGUAGEM/MUNDO E CONHECIMENTO FÍSICO

Com o passar dos anos e as crescentes publicações, foi possível observar que a obra Kuhniana obteve uma tendência a dar maior importância ao aspecto linguístico do desenvolvimento da ciência. Com isso, Kuhn apresenta em um dos ensaios, a concepção de léxico e suas características como um elemento que os membros de uma comunidade científica compartilham e utilizam para atuarem na ciência normal (KUHN, 2006).

O processo pelo qual a ciência se manifesta é diretamente ligado ao vocabulário que ela utiliza para se comunicar. Para Kuhn:

Possuir um léxico, um vocabulário estruturado, é ter acesso ao conjunto variado de mundos que esse léxico pode ser usado para descrever. Léxicos diferentes – os de diferentes culturas ou de diferentes períodos históricos, por exemplo – dão acesso a diferentes conjuntos de mundos possíveis, superpondo-se em grande parte, mas jamais por completo (KUHN, 2006, p.80 e 81).

Ao introduzir o pensamento sobre léxico, Kuhn também estava preocupado em sinalizar a seus críticos algumas características que ficaram ambíguas quando introduziu uma primeira noção disso no uso da incomensurabilidade². Segundo seus críticos, a forma como Kuhn utilizou sua noção de linguagem no âmbito da incomensurabilidade, sugeria uma interpretação de que todo vocabulário poderia ser traduzido para outro mais atual. No entanto:

Incomensurabilidade, assim, equivale a intradutibilidade, mas o que a incomensurabilidade impede não é tanto a atividade de tradutores profissionais. Ao contrário, o que impede é uma atividade quase mecânica inteiramente governada por um manual que especifica, em função do contexto, qual sequência de palavras de uma linguagem pode, salva veritate, ser substituída por determinada sequência de outra (KUHN, 2006, p. 80).

² “(MENDONÇA e VIDEIRA, p.179, 2007) A rigor, a tese da incomensurabilidade indica que a ciência não possui o caráter de unidade e universalidade, como pensava a filosofia da ciência tradicional”.

No que tange às relações da linguagem com a concepção proposta por Kuhn, seu objetivo era também demonstrar que não é porque alguns termos, como o exemplo de “movimento”, variaram de concepção da teoria aristotélica para a teoria newtoniana que todos os léxicos fossem traduzíveis de teoria para teoria, de forma universal, mas que, o léxico muda de acordo com a nova concepção adotada e com o seu uso, não conseguindo fazer uma tradução literal toda vez que passasse pelo processo de incomensurabilidade (KUHN, 2006).

Nessa perspectiva, um léxico é um elemento compartilhado pela comunidade científica no sentido de que é utilizado para descrever a realidade, a qual está sendo incorporado. Os membros de uma comunidade científica utilizam-se do léxico para explicar, falar do mundo no qual eles operam. No entanto, o léxico não se trata de um conjunto de palavras e definições ao modo de um dicionário. Há outro aspecto importante na linguagem científica: as generalizações, em que o léxico de uma linguagem científica paradigmática desempenha um papel fundamental. Para Kuhn:

“A prática científica sempre envolve a produção e a explicação de generalizações sobre a natureza, e essas atividades pressupõem uma linguagem com um grau mínimo de riqueza, e a aquisição de uma tal linguagem traz consigo conhecimento da natureza (KUHN, 2006, p.44).”

Os termos do léxico fazem parte das generalizações, como será explicitado mais à diante.

Para fins de aprendizagem dessa linguagem, Kuhn denominou pelo menos cinco elementos para os estudantes e membros de uma comunidade terem para adquirirem esse grau mínimo de riqueza na composição do léxico, principal característica da linguagem científica.

O primeiro diz respeito a um conjunto mínimo de conhecimento para poder estabelecer uma relação concreta com o léxico envolvido na teoria. “Os estudantes precisam, por exemplo, já ter um vocabulário adequado para fazer referência a objetos físicos e a suas localizações no espaço e no tempo (KUHN, 2006, p.86).” Isso entre outras considerações como o um conhecimento matemático básico para as relações quantitativas da teoria (KUHN, 2006).

O segundo, e particularmente mais importante para os propósitos desse artigo, é o que diz respeito ao papel insignificante das definições dadas a leis e teorias. Conforme Kuhn, o aprendizado ocorre concomitantemente à exposição aos exemplares que fazem referência à

natureza. Esses exemplares são fornecidos por pessoas que já passaram por esse processo (KUHN, 2006).

Aqui, é válido ressaltar que essa exposição aos exemplares e quem os expõem tem basicamente a mesma fonte: os livros didáticos e manuais. Esse processo de exposição a exemplos e aplicações talvez seja uma das principais características do ensino de física, que aparecem mais frequentemente, embora não exclusivamente, na forma de exercícios e problemas a serem resolvidos. Os livros e manuais didáticos são responsáveis por carregarem as aulas de física com inúmeras listas de exercícios e os responsáveis por repassar e demonstrar aos estudantes esses exemplares, foram formados em um mesmo sistema de ensino e por vezes, utilizam dos mesmos livros que aprenderam para repassar o conhecimento físico.

Para os propósitos desse artigo que será a análise desses exemplares com os olhares na matemática da física nos livros didáticos e manuais, essa concepção do reduzido papel das definições e o mais relevante papel da exposição do “conteúdo” por meio dos exemplos é de suma importância.

A terceira característica refere-se também a um ponto importante para os propósitos deste ensaio por ter relação com essa exposição ao léxico da teoria por meio dos exemplares. Segundo Kuhn, geralmente um estudante não é exposto a apenas um exemplo compartilhado para se inteirar dos léxicos envolvidos na teoria, mas, a uma grande quantidade deles. Ou seja, o ensino da teoria passa pela intermitente apresentação de situações problemas estilo quebra-cabeça já com o intuito de formá-lo para o trabalho dentro da comunidade, ou seja, na ciência normal (KUHN, 2006)

O quarto fator envolve uma característica marcante das linguagens de modo geral. Por ser um assunto complexo e que envolve diversos aspectos é comum que alguns termos do léxico quando são apresentados por meio dos exemplares, trazem consigo outros termos, léxicos periféricos que acabam por serem englobados junto à teoria (KUHN, 2006).

Por último, diz respeito ao fato de que, apesar de a física ser uma ciência universal, nem todos os estudantes lidam com os mesmos exemplares no processo de aprendizagem, porém, isso não impede que a comunicação entre membros das comunidades científicas ou estudantes seja confusa. “[...] os indivíduos, podem, em princípio, comunicar-se plenamente, ainda que tenham adquirido os termos que usam ao longo de percursos muito diferentes (KUHN, 2006, p.88)”.

Essas cinco características são importantes no sentido de estabelecerem a base para a comunicação, consolidação e manutenção, mas também, renovação da ciência. Como o objetivo é educacional, a estrutura da linguagem científica proposta por Kuhn fornece alguns subsídios interessantes para se refletir sobre o ensino de física. A seção posterior será destinada à demonstração dessa relação entre a linguagem científica e sua abordagem educacional.

Os fatores responsáveis por descrever as características do léxico e da linguagem científica proposto por Kuhn, levam a outros pontos de sua teoria que conectam com o ensino de física. É o caso do ensino dessa linguagem por ostensão e sobre a teoria da correspondência versus à similaridade.

Para Kuhn, o aprendizado de uma linguagem não se dá por meio da exposição a definições que compõem a teoria em questão, mas sim, pelo uso ostensivo dela na sua aplicabilidade a natureza, ou seja, na forma de exemplares (exemplos, aplicações, problemas e exercícios-modelo etc.). Ao se questionar: “Como, então, adquirimos o conhecimento da natureza que está embutido na linguagem? (KUHN, 2006, p.206)” Kuhn afirma que o:

[...] conhecimento incrustado em termos e frases aprendidos por algum processo não-linguístico, como a ostensão, estou defendendo o mesmo ponto que meu livro visava defender por meio de repetidas referências ao papel dos paradigmas como soluções concretas de problemas, os objetos exemplares de uma ostensão (KUHN, 2006, p.207).

Ou seja, o processo, pelo qual a aprendizagem de uma linguagem ocorre, não é puramente linguístico, mas sim, uma prática de linguagem. No sentido de relacionar as palavras com outras palavras, no aprendizado da teoria, como a quarta característica descreve, mas, no seu uso ostensivo do léxico com a natureza por meio de exemplares similares.

Como exposto acima, o processo de formação de um cientista é histórico e a utilização do léxico também, segundo Kuhn (2006, p.86):

O vocabulário no qual os fenômenos de um campo como a mecânica são descritos e explicados é um produto histórico, desenvolvido ao longo do tempo e, continuamente, transmitido, em seu estado então corrente, de uma geração à sua sucessora. No caso da mecânica newtoniana, o grupo de termos necessários tem se mantido estável já faz algum tempo, e as técnicas de transmissão são relativamente padronizadas.

Esse processo de alfabetização diz respeito à apreensão do sentido do paradigma nos conceitos e leis que ele estudará. Na termodinâmica, por exemplo, Kuhn (2011) destaca que o processo de quantificação e conhecimento do termo “trabalho” foi de suma importância para o desenvolvimento da descoberta da conservação de energia. O conceito de trabalho realizado por máquinas a partir de uma determinada quantidade de calor gasta ajudou os pioneiros³ a expressar a conservação de energia em termos matemáticos.

O paradigma não é aprendido diretamente como um conjunto de regras explicitadas que relacionam linguagem e mundo. Ele é aprendido tacitamente, por ostensão e por um conjunto de práticas. Um exemplo disso é a relação que Kuhn fez ao demonstrar o sentido das palavras para escola aristotélica e para escola newtoniana “[...] quando o termo “movimento” ocorre na física aristotélica, ele se refere à mudança em geral, não apenas à mudança de posição de um corpo físico (KUHN, 2006, p.28)”.

Para dar continuidade na linha de raciocínio sobre o aprendizado da linguagem científica, o estudante experiencia os fatores mencionados anteriormente, além da aprendizagem por ostensão. No entanto, o uso por ostensão da linguagem relaciona também a discussão sobre a grande quantidade de exercícios e problemas resolvidos pelos estudantes, fazendo, desta forma, refletir sobre sua capacidade de associação na resolução desses problemas. Segundo Kuhn “[...] a capacidade adquirida de perceber semelhanças entre problemas aparentemente díspares cumpre, na ciência, uma parte significativa do papel em geral atribuído às regras de correspondência (KUHN, 2011, p.324).”

O autor observa uma tendência da história da ciência em atribuir as regras de correspondência como as responsáveis por fazer com que os estudantes consigam fazer a associação de exemplares a serem resolvidos com exemplares já resolvidos anteriormente que são análogos (KUHN, 2011).

No entanto, para Kuhn, as regras de correspondências abordadas no âmbito dos exemplares, tornariam o processo de resolução de situações exemplares e conseqüentemente o aprendizado da linguagem científica em uma mera questão de aplicação de regras.

Há ocasiões em que é conveniente passar para a bem conhecida estratégia baseada em limites e regras. Mas ela não é a única estratégia disponível para o processamento de dados ou estímulos. Existe a alternativa baseada naquilo que chamo de percepção de similaridade aprendida. A observação, seja do aprendizado

³ Termo utilizado por Kuhn (2011) para se referir aos cientistas envolvidos na descoberta da Primeira Lei da Termodinâmica

da linguagem, da educação científica ou da prática científica, sugere que ela é, de fato, amplamente utilizada (KUHN, 2011, p.336).

A percepção de similaridade traz consigo uma maior coerência com os apontamentos de Kuhn até aqui, no sentido de que a partir do momento em que o estudante entende que os exercícios (exemplares) que está resolvendo são similares a outros que ele já resolveu, o processo de aprendizagem da linguagem científica se torna inter-relacionado e não regras de correspondência.

Nesse sentido, pode-se concluir que para Kuhn, não há como se aprender uma determinada teoria científica sem que se aprenda seu vocabulário (léxico), ou seja, o aprendizado de um campo da ciência, nada mais é que o aprendizado de uma linguagem (KUHN, 2006). E o léxico é apreendido com seu uso em situações recorrentemente similares e relacionadas de alguma forma ao mundo.

Nesse ponto do texto, é possível entender que para Kuhn, o desenvolvimento da ciência está no ciclo que começa com o treinamento dos seus sucessores, impondo aos estudantes um modelo coercitivo de aprendizagem de uma linguagem, para fazer parte de uma comunidade científica, e assim trabalhar de acordo com as práticas e valores impostos pelos elementos da matriz disciplinar dentro da ciência normal.

Toda argumentação feita até aqui se faz necessária para que nas próximas seções seja possível utilizar a concepção de linguagem de Kuhn no âmbito do ensino de física. Mobilizando, assim, uma abordagem partindo dos estudos da ciência, para problematizar a matemática na física e no seu ensino.

2.4 A MATEMÁTICA NA FÍSICA A PARTIR DA TEORIA KUHNIANA

Como já visto anteriormente, um paradigma pode ser definido como um conjunto de práticas e valores partilhados por uma comunidade científica que é responsável por praticar a ciência normal, no entanto, esse conceito, como o próprio Kuhn insinuou em seu posfácio, “assumiu vida própria” (KUHN, 1987, p.232). Atualmente, é possível encontrar o termo paradigma em diversas obras e que nem sempre têm relação com o que Kuhn quis demonstrar.

Nessa perspectiva, o conceito de Matriz Disciplinar (MD) foi disposto por Kuhn para tentar delinear algumas demarcações a respeito do paradigma, segundo ele, o nome escolhido faz referência a algo que é comum para uma comunidade científica, como uma disciplina para

estudantes e matriz por fazer referência a um material composto por elementos ordenados dentro de um sistema (KUHN, 2006). Além disso, será abordada também a relação entre léxico e os componentes da matriz disciplinar no sentido de entender como a linguagem científica da teoria Kuhniana se relaciona com a matemática da física no ensino.

Tal conceito busca sistematizar as perguntas feitas referentes às características das atividades em grupos que partilham do mesmo paradigma, como por exemplo, como os cientistas sabem o funcionamento da ciência se não há um livro de regras a ser seguido? Ou também, como a comunicação entre os pares parece ser tão estável ao se delinear a ciência normal? Esses apontamentos acerca da sua pesquisa fizeram-no refletir sobre como seria possível tais explicações.

Para ele, esse conceito é intimamente relacionado a outros (comunidade científica, generalizações simbólicas, exemplares, léxico) que serão abordados neste capítulo. Para expor tal relação, é necessário estabelecer como o cientista é formado e com qual intuito.

Diante disso, e através de alguns exemplos, Kuhn (2006) traça a rotina acadêmica que todo estudante de ciências, particularmente de física – que é o foco deste ensaio – passa para poder atuar como cientista, ou seja, como membro de uma determinada comunidade.

Para a formação acadêmica, o estudante passa por um processo de coerção acadêmica de origem histórica em que se intensificam principalmente as resoluções de problemas. No entanto, antes de chegar a esse ponto, o estudante deve passar por um processo de apreensão da linguagem científica a qual está dedicando a carreira (KUHN, 2006).

Todavia, há uma particularidade sobre a teoria do léxico proposta por Kuhn e que não foi demonstrado até o presente momento. Ao se falar de uma ciência e, principalmente na física, é necessário que os termos façam relação com a natureza, ou seja, a aprendizagem do léxico por si só não diz nada sobre a ciência em questão. É necessário que faça relação com o mundo. Essa relação não ocorre em termos de passo a passo, ou seja, primeiro se aprende o vocabulário e depois com ajuda dele, entende-se sobre o mundo. Segundo Kuhn (2006), esse aprendizado ocorre ao mesmo tempo, não há separação e sim um conjunto de práticas e valores compartilhados que induz o estudante a fazer a relação do vocabulário com o mundo em conjunto e numa certa perspectiva. O aprendizado da linguagem científica não significa a apreensão pura e simples de um vocabulário, e muito menos de definições, mas de como palavras e outros símbolos se relacionam com o mundo de uma determinada maneira. Esse

aprendizado se dá pelo uso, num contexto ou prática que relacionam implicitamente natureza e linguagem, como por exemplo, na resolução de problemas exemplares.

Para tal, o léxico necessita de uma aproximação com outros aspectos compartilhados pela comunidade. Como já citado, os elementos da matriz disciplinar como as generalizações simbólicas, exemplares e modelos estão presentes no âmbito das comunidades científicas também como pontes para esse entendimento do mundo e da linguagem.

Quando Planck, por volta de 1909, foi por fim persuadido de que a descontinuidade tinha vindo para ficar, passou a usar um vocabulário que tem sido padrão desde essa época. Antes, ele havia usualmente se referido ao tamanho E da célula como “elemento” de energia. Em vez disso, em 1909, começou regularmente a falar do “quantum” de energia; pois “quantum”, tal como o termo era usado na física alemã, era um elemento separável, uma entidade semelhante a um átomo que podia existir por si mesma. Enquanto fora meramente o tamanho de uma subdivisão mental, E não tinha sido um quantum, mas um elemento (KUHN, 2006, p.40)

O exemplo de Planck citado por Kuhn, é uma demonstração da relação entre o léxico e as outras características compartilhadas pela comunidade. Ao mudar o sentido de “elemento” para “quantum” Planck estava também mudando o sentido da sua pesquisa, do mundo, pois, como se sabe, um quantum pode somente ser múltiplos de um valor mínimo fundamental e nesse contexto, assumem uma diferença considerável do termo “elemento”, ou seja, o léxico mudou também a forma como interpretar o mundo. Além disso, é possível observar que isso foi derivado de um exemplar, um problema que foi resolvido com base em outro problema (a interpretação do princípio de Boltzmann) mas, com as diferentes conclusões que Planck assumiu. Ainda nessa perspectiva, é possível ver que quando Planck adotou um novo sentido ao quantum, foi possível estabelecer parâmetros quantitativos mais precisos para a teoria, contribuindo para as generalizações simbólicas envolvidas no exemplar. Não obstante, esse problema emergiu como modelo para exemplares subsequentes no campo da física quântica.

Um novo exemplo que pode reforçar a compreensão de que o léxico está em um processo único, sem separação do seu referente, diz respeito à análise de Kuhn sobre os termos da teoria newtoniana.

Na prática, várias dessas aplicações da teoria newtoniana costumam fazer parte do processo de aquisição da linguagem newtoniana, sendo a informação sobre o léxico e a informação sobre o mundo distribuídas entre elas numa mistura indivisível. Nessas circunstâncias, um ou outro dos exemplos introduzidos durante a aquisição

do léxico pode, quando a ocasião o exigir, ser ajustado ou substituído à luz de novas observações. Outros exemplos manterão o léxico estável, conservando um conjunto de quase-necessidades equivalentes àquelas inicialmente induzidas pelo aprendizado da linguagem (KUHN, 2006, p.93).

Nesse sentido, pode-se observar que a aquisição do léxico pelo aprendiz, é referido pelas demonstrações de situações problemas (exemplares) em que os termos do léxico aparecem, fazendo referência com o paradigma em questão.

Um outro fator que deve ser considerado, se o interesse é a demonstração dos elementos que uma comunidade científica partilha e a matemática da física no ensino são as resoluções de problemas. Segundo Kuhn:

Um terceiro aspecto significativo do processo de aprendizagem é que a exposição a uma única situação exemplar raramente, ou nunca, fornece informações suficientes para permitir que o estudante use um termo novo. São necessários vários exemplos de variados tipos, com frequência acompanhados de exemplos de situações, aparentemente similares, aos quais o termo em questão não se aplica (KUHN, 2006, p.88).

Pode-se estabelecer uma conexão entre o processo educacional da física e o desenvolvimento da ciência. Além do mais, essas resoluções de problemas estão intrinsecamente relacionadas aos processos pedagógicos regidos pelos manuais na formação do estudante, isso implica em determinar que a formação do cientista é modelada para que ele possa trabalhar dentro do paradigma vigente, pois, os manuais nada mais são que um apanhado geral de leis e teorias que delimitam na ciência os problemas a serem estudados e resolvidos, tal qual um paradigma faz em uma comunidade científica (KUHN, 2006).

Ao resolver listas de exercícios, o estudante está aprendendo a correlacionar os modelos físicos através do aprendizado do léxico concomitantemente à utilização dos exemplares e generalizações simbólicas presentes na matriz disciplinar.

As generalizações simbólicas sempre estiveram presentes na comunidade científica, utilizando de exemplos, ela determina para a comunidade o que cada léxico –nem sempre símbolos matemáticos, pois podem ser falados em termos de linguagem verbal– principalmente matemáticos representam para a ciência (KUHN, 2006).

Para exemplificar, ainda em seu Posfácio de 1969, Kuhn utiliza-se da segunda lei de Newton para demonstrar como uma generalização simbólica se estabelece no aprendizado do estudante.

Segundo ele, a segunda lei de Newton, matematicamente descrita como $F = m.a$ é uma generalização simbólica, a qual será chamada aqui de não interpretada, o que significa que ela representa para os estudantes e físicos uma visão geral de sistemas dinâmicos que envolvam os léxicos descritos por ela, no entanto, ao aplicá-la à alguma situação do mundo, como por exemplo o da queda livre, ela se transforma em $m.g = \frac{d^2s}{dt^2}$ a qual será chamada aqui de generalizações simbólicas interpretadas (KUHN, 2006).

Em termos pedagógicos, o que um professor faz é trazer essa concepção de interpretação para o estudante. No entanto, o que comumente se vê, inclusive em livros didáticos (VALIO et al, 2018), é a grande importância para o entendimento das leis e teorias científicas através da definição da lei. Nesse sentido, Kuhn argumenta que:

O segundo aspecto significativo do processo por meio do qual termos novos são adquiridos refere-se a que as definições desempenham aí um papel insignificante. Em vez de serem definidos, esses termos são introduzidos pela exposição a exemplos de seu uso, exemplos fornecidos por alguém que já pertença à comunidade linguística na qual são costumeiros. Essa exposição frequentemente inclui apresentações reais, por exemplo, num laboratório para estudantes, de uma ou mais situações exemplares a que os termos em questão são aplicados por alguém que já sabe como usá-los (KUHN, 2006, p. 87)

2.4.1 O PROCESSO DE INTERPRETAÇÃO

Kuhn ajudou a entender o processo pelo qual o conhecimento científico tem se modificado durante os anos, ao mesmo tempo que permanece constante com as ações das comunidades científicas nas atividades da ciência normal.

No entanto, como brevemente já citado, há um processo que se faz necessário descrever mais quando diz respeito a estabelecer a relação entre a matemática da física no ensino e os desdobramentos da obra Kuhniana: a interpretação.

Conforme as descrições de Kuhn, interpretação é o processo que possibilita que as generalizações simbólicas, e, entre elas, e no caso da física, principalmente aquelas expressas matematicamente (funções, gráficos, etc.), tenha sentido em relação ao mundo, ou seja, adquiram sentido epistemológico, pois é ela quem faz ligação com a referência empírica (KUHN, 2011). Assim, para Kuhn, a interpretação, ou seja, a relação entre linguagem e mundo, é adquirida pelo futuro físico, pela prática recorrente e ostensiva de uso de generalizações simbólicas em concomitância com os exemplares.

Para que as generalizações simbólicas não sejam apenas “como expressões num sistema puramente matemático (KUHN, 2011, p.317)” elas precisam ter sentido físico, ou seja, as generalizações simbólicas são interpretadas quando fazem referência com o mundo real. E esse processo de referência se dá pelos exemplares e pelos desenvolvimentos de formulações específicas das generalizações aplicadas a cada caso que represente uma situação em que a natureza se comporta daquela maneira.

Nesse sentido, o processo de interpretação se dá de forma que a matemática se entrelaça com a linguagem científica da física por meio do processo de interpretação no qual os elementos da MD são trabalhados com os estudantes.

Refletindo a teoria descrita até então e pensando sobre o ensino de física, o professor ao entrar em sala no ensino básico, depara-se com estudantes que não têm contato com a cientificidade da natureza. O docente é responsável por descrever o mundo das ciências ao qual ele faz parte. Esse processo requer um aprendizado da linguagem científica com todos os léxicos, generalizações simbólicas, modelos e exemplares que a física exige. A interpretação é responsável por fazer a conexão dessa linguagem e suas características com a natureza (KUHN, 2006).

No entanto, é preciso pautar que Kuhn em toda sua obra se refere a estudantes, manuais e ensino de futuros membros das comunidades científicas para compor os elementos da ciência normal. Em nenhum momento Kuhn faz alusão ao ensino básico. O que está proposto é observar essas conexões com as características da linguagem científica de Kuhn da ciência para com o ensino de física básico, com um olhar especial para a matemática da física.

Nessa perspectiva, é possível notar que os elementos da linguagem científica de Kuhn fazem conexão com inúmeros pontos do ensino de física. Quando se olha diretamente para a matemática da física, pode-se observar que todos os elementos da linguagem científica citados até aqui, possuem um caráter também matemático.

As generalizações simbólicas são as mais visíveis por se mostrarem através de gráficos e funções, mas, é válido ressaltar que a linguagem científica no uso de suas atribuições dentro da física também possui uma linguagem verbal matemática. “menos”, “razão”, “mais”, “proporcional” entre outras palavras que utilizamos ao demonstrar um fenômeno descrevem processos matemáticos dentro da física que está fazendo conexão com a realidade.

Também é fácil de encontrar essa conexão matemática no uso no léxico ao se analisar as variáveis das equações utilizadas pela física. A letra W por exemplo, dentro do contexto da termodinâmica significa trabalho que o torna diferente do português, por exemplo. Ou seja, o W faz parte do léxico (vocabulário) da linguagem científica, quando é nele atribuído uma ligação com o mundo.

Esse exercício é deveras complicado porque submerge em um campo ainda pouco explorado. O autor é muito utilizado no campo da epistemologia da ciência, mas é perceptível alguns esforços de pesquisadores para trazê-lo mais próximo ao ensino de física. Esse, será o assunto principal da próxima seção, além de trazer para mais próximo um olhar para a matemática da física usando os artifícios de sua linguagem.

2.5 ENSINO DE FÍSICA E MATEMÁTICA: CONSIDERAÇÕES A PARTIR DA TEORIA KUHNIANA

A presente seção tem o intuito de buscar algumas referências bibliográficas que se utilizaram da teoria kuhniana no âmbito educacional para poder explorar não somente as considerações feitas, mas, abrir os horizontes quanto à sua utilização para a pesquisa em ensino. Além disso, será estabelecida a conexão dessa abordagem exposta até aqui com seus desdobramentos para o ensino de física.

Trabalhos como Zylbersztajn (1991), Mannrich (2014) e Ballestero (2014) trazem consigo algumas concepções de Kuhn para o âmbito escolar. Nem todos no sentido de utilizar a teoria já demonstrada neste ensaio, mas sim, fazendo referência a aspectos da sua obra epistemológica.

Zylbersztajn (1991) buscou inspiração nos principais aspectos da obra de Kuhn para fazer um paralelo com o ensino de ciências, no caso, a física. Partiu dos conceitos de ciência normal, revoluções científicas, crise e anomalia para fomentar um possível ensaio em sala de aula.

Segundo ele, é possível traçar paralelos com os aspectos filosóficos do desenvolvimento científico, com aspectos específicos de uma aula de física. Buscando assim, inspiração na concepção de Kuhn de ciência para a educação.

Zylbersztajn postula dois passos principais compostos por alguns aspectos que ditariam os paralelos com a obra de Kuhn e as práticas educacionais. O primeiro deles foi o

que denominou de “O aluno como cientista em uma revolução (ZYLBERSZTAJN, 1991, p. 57).”

Nessa concepção, o aluno faria parte de uma revolução, mas não no sentido científico, e sim, interno, onde suas concepções prévias seriam elevadas ao conhecimento científico através de alguns passos. O primeiro deles “Elevação do nível de consciência conceitual (ZYLBERSZTAJN, 1991, p. 58).” Esse passo diz respeito sobre fazer com que o estudante esteja ciente de suas concepções prévias e isso pode ser acessado através de situações problemas sobre essas concepções e após, sendo debatidas entre os estudantes. O intuito é levantar questionamentos a respeito do saber, fazendo com que entrem em conflito cognitivo sobre suas concepções da teoria abordada. O que é analogamente parecido com o conceito de anomalia que precede uma revolução científica.

O segundo passo, é “Introdução à anomalias (ZYLBERSZTAJN, 1991, p. 58).” Nesse momento, o aluno é encorajado a aplicar suas concepções a resolução de problemas ou experiências, fazendo com que fique em conflito se aquilo é realmente a explicação científica do fenômeno em questão. Na analogia proposta, faz alusão às crises, que também precedem uma revolução científica.

O terceiro e último passo dessa primeira parte é o que Zylbersztajn chamou de “Apresentação a nova teoria” (ZYLBERSZTAJN, 1991, p. 58). Nela, os estudantes, já em dúvida sobre suas concepções prévias, são apresentados a possíveis outras concepções e incentivados a produzir as próprias resoluções do problema. Esse processo é intermediado pelo professor. O que na analogia proposta busca fazer o papel da disputa entre escolas contrárias durante uma revolução científica.

Encerrado o primeiro passo da metodologia proposta com base em Kuhn, espera-se que os estudantes estejam abertos a novas propostas de solução do problema, começando aí, o segundo passo da atividade “O aluno como um cientista normal” (ZYLBERSZTAJN, 1991, p. 59).

Nesta fase, os estudantes trabalham da mesma forma como os cientistas na ciência normal, seguindo uma determinada gama de práticas e valores e utilizando das mesmas concepções (paradigmas) resolvendo problemas, aplicando a teoria a diversas situações e assim por diante.

Essa é uma das possibilidades de abordagem da teoria kuhniana no ensino. Mesmo que de modo mais tradicional com o trabalho na ciência normal da escola, o estudante tem

possibilidade de adentrar no mundo da cientificidade através da metodologia de problematização partindo de suas concepções prévias.

A segunda situação, diz respeito à abordagem de Mannrich (2014): investigar como licenciandos de física discutem a linguagem matemática no ensino de física, mas, com uma leitura diferente da teoria kuhniana.

Mannrich (2014) utilizou a teoria kuhniana no sentido de propor uma reflexão sobre a linguagem matemática e a concepção que os estudantes de física têm dela, utilizando como pressupostos o entendimento de Kuhn sobre a formação dos cientistas.

As características da matemática na obra kuhniana foram mobilizadas por meio dos elementos da matriz disciplinar como citado na seção anterior, com foco na resolução de exemplares e como esses se relacionam com a concepção de matematização dos estudantes nos dias atuais. Para tanto, Mannrich (2014) também se baseou no debate da matemática como sendo instrumental/técnico ou estruturante a partir do trabalho de Karam (2012).

De modo geral, a abordagem de Mannrich através da teoria de Kuhn, foi de demonstrar que a apropriação da linguagem matemática no ensino de física é um processo prático, através dos exemplares, e que não é uma simples aquisição de suporte técnico para a desbravagem do mundo e sim, embutida na própria interpretação da realidade.

Sendo diferente da primeira, Mannrich utilizou a abordagem kuhniana da linguagem matemática como forma de aporte teórico e reflexão para uma concepção epistemológica da linguagem matemática. Não houve elaboração de práticas educativas sobre alguma teoria física no ensino básico como material empírico, mas sim, de práticas com alunos da 7ª fase do curso de licenciatura em física sobre como eles enxergam o papel das resoluções de problemas e o papel da linguagem matemática da física. Indiretamente, a abordagem atravessou o âmbito prático e agiu como fonte de reflexão para futuros docentes na área da física de como esse papel da linguagem matemática é importante e complexo.

O terceiro caso, diz respeito ao trabalho de Ballesterro (2014) que abordou em sua tese a preocupação com a aprendizagem significativa da linguagem física. E utilizou da teoria kuhniana para sua concepção de linguagem física.

Ballesterro (2014) trabalhou em sala de aula com três alunos da licenciatura em física para um curso introdutório sobre mecânica clássica com base na linguagem física de Kuhn e analisando a aprendizagem significativa desses três alunos durante o processo.

A utilização da teoria kuhniana se deu por intermédio dos componentes da teoria Ausbeliana de aprendizagem significativa. O autor baseou-se na teoria da linguagem Kuhniana como objeto de estudo dentro de uma teoria (mecânica clássica). A análise recaiu em atividades sobre situações exemplares da mecânica clássica no sentido de observar se os estudantes tiveram um aprendizado significativo ou não da linguagem física contida nessa teoria.

Concluindo que apenas dois estudantes conseguiram atingir o que denominou de aprendizagem significativa representacional da linguagem física, enquanto um estudante ficou no que denominou de tratamento de sintaxe (BALLESTERO, 2014).

Nesse sentido, o autor construiu uma abordagem linguística da teoria de Kuhn em uma abordagem prática em sala de aula com conteúdos empíricos e análises de práticas como sendo uma alternativa de concepção no ensino de física. Trouxe para a realidade educacional os léxicos envolvidos em uma teoria e buscou um método de ensino-aprendizagem que englobasse a física como linguagem.

Foram três abordagens diferentes de como a teoria de Kuhn vem sendo mobilizada no âmbito educacional. Esse pequeno resumo dos trabalhos demonstra, que cada um à sua maneira, é possível estabelecer vínculos entre a teoria de Kuhn e o ensino de física.

O objetivo deste estudo passa por analisar também no âmbito do ensino básico um dos instrumentos mais utilizados pelos professores em sala de aula: livros didáticos e ver como a matemática da física descrita por Kuhn se une ao ensino de física básico. E mais, quais as relações desses com os livros de ensino superior, aos quais Kuhn se refere na sua obra, aqueles que são responsáveis por formar novos membros da comunidade científica para trabalhar na ciência normal regido pelas práticas e valores da MD.

Apesar de em toda obra o autor não estar preocupado efetivamente com o processo de ensino-aprendizagem, Kuhn acaba por entrar nesse âmbito quando envolve os aspectos do ensino, tais como os manuais de ensino superior, como sendo de suma importância no desenvolvimento da própria ciência e de suas engrenagens, como as comunidades científicas, a ciência normal e conseqüentemente os paradigmas e as revoluções.

Por esse motivo, é válido ressaltar alguns pontos da obra em que Kuhn aborda efetivamente o ensino de ciências. Essa demonstração é necessária para demarcar de que ensino Kuhn estava se referindo, e conseqüentemente para que possamos distinguir sua

análise epistemológica da ciência das abordagens de ensino-aprendizagem que serão demonstradas e propostas até aqui.

Kuhn desenvolveu seu pensamento no ciclo em que a ciência se estabelece para seu progresso. O cientista trabalha sob os requisitos da ciência normal, dentro de uma comunidade científica e com coerções das práticas e valores da matriz disciplinar. Isso tudo envolve uma linguagem científica, a qual a principal característica é o léxico que os membros de uma comunidade também compartilham, na sua relação com generalizações simbólicas e exemplares.

No entanto, Kuhn entende que para essa engrenagem continuar a rodar é preciso que os membros das comunidades se renovem, ou seja, que novos membros sejam formados. Essa formação de novos membros é a porta de entrada para sua concepção de ensino de ciências.

Ou seja, Kuhn está interessado em como os membros das comunidades científicas são formados, partindo do pressuposto que eles precisam compartilhar os mesmos princípios, práticas e valores para que não gere controvérsia dentro das comunidades.

Nesse sentido, os manuais são de suma importância para sua perspectiva. Já no livro *A estrutura das revoluções científicas*, de 1962, Kuhn demonstrava uma profunda relação entre o objetivo dos manuais no ensino e a formação de novos membros, segundo ele:

Referem-se a um corpo já articulado de problemas, dados e teorias e muito frequentemente ao conjunto particular de paradigmas aceitos pela comunidade científica na época em que esses textos foram escritos. Os próprios manuais pretendem comunicar o vocabulário e a sintaxe de uma linguagem mais próxima da utilizada na vida cotidiana (KUHN, 1987, p.174.).

Nessa perspectiva, os manuais são carregados por um conjunto científico que membros de uma comunidade já compartilham durante seus trabalhos (como problemas, dados e teorias). Os estudantes aprendem os limites e possibilidades da ciência.

Essa percepção sobre o papel dos manuais em objetivar o ensino, no sentido de direcioná-los a uma trilha até seu trabalho na ciência normal induz a uma outra colocação que nos leva à nossa preocupação de pesquisa.

Segundo o que já foi demonstrado em seções anteriores, o estudante aprende conforme a exposição a exemplares, com o auxílio das generalizações simbólicas e aos modelos, na prática da linguagem, que estabelece relações entre símbolos, verbais e

matemáticos, e o mundo. Isso nos faz refletir sobre quantos e onde esses exemplares são encontrados no ensino. A resposta disso é óbvia: manuais didáticos.

Para exemplificar seu papel, Kuhn utiliza dos exemplos das leis de Newton, onde, invariavelmente, o estudante passa diversas horas debruçado sobre exemplares encontrados nos manuais que envolvam essas leis, contudo, a percepção de que ela é uma mera aplicação do que já se tem conhecimento não é completamente correta visto que “resolver problemas é aprender a linguagem de uma teoria e adquirir o conhecimento da natureza embutido nessa linguagem (KUHN, 2006, p.209).” Ou seja, o ato de resolver os exemplares dispostos nos manuais, sugere que o estudante está aprendendo a teoria, sua linguagem e conseqüentemente o conteúdo da natureza implícito nela. O processo de aprendizado ocorre em conjunto e não separado.

Conectado a isso, Kuhn ainda relata que essa ação de resolução de problemas não pode ocorrer sistematicamente do nada. “O estudante precisa conhecer matemática, um pouco de lógica e, acima de tudo, a linguagem natural e o mundo ao qual ela se aplica (KUHN, 2006, p.211)”.

Esse é um ponto de encruzilhada com o principal objetivo deste capítulo. A linguagem científica e a forma como os estudantes aprendem a física é interligada por uma série de fatores descritos anteriormente, como por exemplo os elementos da matriz disciplinar. Esses aspectos ou componentes da matriz disciplinar, além do léxico, não estão interligados no funcionamento da linguagem científica, da qual, no caso da física, a matemática é um elemento fundamental. Essa prática de resolução de exercícios e problemas, como exemplares, como parte fundamental do aprendizado carrega consigo o ato de utilizar a matematização como as generalizações simbólicas envolvidas –embora nem sempre matemáticas- para a sua resolução de forma a produzir uma interpretação não subjetiva do mundo. Contudo, o que Kuhn descreve é sobre a formação de novos membros da comunidade científica, ele não se refere em nenhum momento ao ensino de física da educação básica. A ponte que este capítulo propõe fazer é justamente com esse fator. O processo de aprendizagem na educação básica sobre a física é diferente e igual ao mesmo tempo. Diferente no sentido de que o ensino básico não é –ou pelo menos não deveria ser- responsável por formar novos membros de uma comunidade e sim, informá-los basicamente sobre a física envolvida no cotidiano e abrir a possibilidade de aprofundamento caso queiram seguir uma carreira científica e igual, no sentido de que as práticas de ensino de física em nível básico são

praticamente as mesmas. Todos os estudantes praticam o conjunto de resolução de problemas e tudo que os envolve como principal prática de ensino. No entanto, os estudantes do ensino básico nem sempre têm as ferramentas descritas por Kuhn apuradas o suficiente para aprender dessa maneira.

O fato de os físicos resolverem diversas situações problemas similares, ser a maior característica do ensino é o que faz a conexão com o manual didático, visto que é nele onde se encontram a grande maioria deles. E isso, levando em consideração que a também grande maioria esboça algo relacionado à matemática para ser resolvida, conclui o círculo de relação estabelecida por este ensaio.

Contudo, é válido ressaltar que a linguagem científica e que também tem caráter matemático, proposta por Kuhn, faz parte do escopo científico como parte constituinte de sua própria produção. Ou seja, não é algo que surge a posteriori, mas que sim, está no âmbito científico, da mesma forma que qualquer outra característica importante das ciências.

Os esforços baseiam-se em encontrar nos livros didáticos de física em nível básico e nos manuais, qual a forma que a matemática se manifesta. Entende-se que a linguagem científica proposta por Kuhn possui entrelaçamentos profundos com a matemática, pois Kuhn analisa essencialmente o conhecimento físico. Esses entrelaçamentos encontram-se nos próprios elementos da matriz disciplinar e no léxico. Em outras palavras, se a matriz disciplinar de uma área possui um léxico, no caso da física, grande parte dele designa termos/conceitos expressos por signos dentro de equações matemáticas como variáveis e constantes; se a matriz disciplinar de uma área de conhecimento possui generalizações simbólica, como as da biologia e da geologia, e pode ser expressas em linguagem verbal, no caso da física, as principais generalizações são apresentadas na forma de equações matemáticas; se todo campo de conhecimento científico possui exemplares, no caso da física, eles são em geral, problemas resolvidos que mobilizam desenvolvimentos, deduções, aplicações, derivações de equações matemáticas.

2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALLESTERO, H. C. E. **Aprendizagem significativa da linguagem física em um curso de introdução à mecânica clássica no ensino superior**. 134 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.

- KARAM, R. A. S. **Estruturação matemática do pensamento físico no ensino: uma ferramenta teórica para analisar abordagens didáticas**. 292 f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- KUHN, T. S. **A Tensão Essencial**. São Paulo: Editora da Unesp, 408 p, (2011) [1977/1974]
- KUHN, T.S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo, Perspectiva, (1987) [1969]
- KUHN, Thomas S. **O caminho desde a estrutura**. Editora da Unesp, 2006.
- MANNRICH, J. P. **Linguagem matemática, Física e Ensino: como licenciandos discutem essa relação**. 258 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.
- MENDONCA, André Luis de Oliveira; VIDEIRA, Antonio Augusto Passos . **Progresso científico e incomensurabilidade em Thomas Kuhn**. SCIENTIAE studia, v. 5, n. 2, p. 169-183, 2007.
- MINHOT, Leticia Olga. **Uma reconstrução das teorias psicanalíticas de S. Freud segundo as categorias da matriz disciplinar de T. Kuhn**. 234p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. 2001.
- MORAES, Vinicius Britto. **A incomensurabilidade dos paradigmas em Thomas Kuhn: considerações e críticas**. Guairacá-Revista de Filosofia, v. 33, n. 1, p. 138-158, 2017.
- MOREIRA, MA; AXT, R. **Tópicos em Ensino de Ciência**. Porto Alegre, Sagra, 1991.
- OSTERMANN, Fernanda. **A epistemologia de Kuhn**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 13, n. 3, p. 184-196, 1996.
- RAMALHO, Vagner Gomes. **O desenvolvimento da ciência segundo Thomas S. Kuhn : análise e crítica do modelo proposto na estrutura das revoluções científicas**. 2014. 90 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2014.
- VALIO, A.B.M _et al_. **Ser protagonista: física 2 - Ensino Médio**. 3 ed. São Paulo: Edições SM, 2016.
- ZYLBERSZTAJN (1991), Arden. **Revoluções científicas e ciência normal na sala de aula**.

3 ANÁLISE DOS LIVROS: RESULTADOS E DISCUSSÕES

Resumo

Este trabalho tem como objetivo a análise de dois livros de ensino médio de física e um manual de ensino superior, com foco na matemática da Primeira Lei da termodinâmica a partir dos pressupostos teóricos de Thomas Kuhn, assunto abordado no capítulo anterior. A análise contém recortes dos livros no que tange as relações das noções físicas com as categorias de análise da teoria kuhniana. Constatou-se que os três livros fazem uso do modelo cinético-molecular para a demonstração da Primeira Lei da Termodinâmica. A presença dos elementos de análise nos livros, além da estruturação da teoria ter todos os elementos se relacionando entre si. Para finalizar, foi possível notar a diferença de simbolismo na descrição matemática da Primeira Lei da Termodinâmica nos três livros analisados.

Palavras-chaves: Livros didáticos; matemática; Primeira Lei da Termodinâmica

3.1 INTRODUÇÃO

O presente ensaio trata de uma análise da matemática em livros didáticos e manuais a partir da abordagem kuhniana da produção de conhecimento na física. A análise recai diante de dois livros didáticos para a educação básica e um manual de física para o ensino superior, buscando contribuir para a problemática da matematização da física no seu ensino.

A Primeira Lei da Termodinâmica foi o tema escolhido para a análise, por ser uma lei com uma grande gama de aplicações, ser objeto de estudos tanto no ensino superior, como no ensino básico e estar relacionada a um dos princípios da Física, o da conservação da energia.

Dentre as inúmeras possibilidades no trabalho pedagógico com relação à matemática, o livro didático segue sendo um importante recurso pedagógico e metodológico que participa dos processos educativos não somente no ensino de física, como no ensino das ciências em geral.

Nessa perspectiva, adotou-se uma análise da noção da Primeira Lei da Termodinâmica em diferentes textos. Tanto o livro didático quanto o manual têm papel formativo, no entanto, eles não estão na mesma prateleira no sentido de aprofundamento didático por serem escritos para fins diferentes, os primeiros, uma formação geral dos cidadãos em ciência, e os segundos, a formação do físico, ou seja, sua formação acadêmica e profissional.

Nessa perspectiva, entende-se que o texto didático composto nos livros em questão, têm profunda relação com o processo pedagógico de ensino-aprendizagem no ensino de ciências (nesse caso, a física).

Para tal análise, foram mobilizadas categorias da teoria da ciência de Thomas Kuhn.

No que diz respeito ao ensino de física e a teoria kuhniana já há um movimento de aproximação em pesquisas da área, como o trabalho de Ballesteros 2014, de Mannrich 2014 e Zylbersztajn 1991. No entanto, buscou-se aqui, uma aproximação entre os conceitos de Kuhn sobre a linguagem científica, ou seja, à sua teoria do léxico (KUHN, 2006 e 2011) e de alguns dos elementos da Matriz Disciplinar (MD) (KUHN, 1987; 2006 e 2011) para compreender a textualização do conhecimento físico pelo livro didático e manual, no que tange a matematização da Primeira Lei da Termodinâmica.

Trabalhos como o de Karam 2012; Pietrocola 2002; Ataíde 2012; Mannrich 2014 abordam a problemática da matematização da física no seu ensino de diferentes formas. Cada qual traz sua compreensão de motivos e abordagens referentes à matematização da física. Segundo Karam (2012, p.37):

Pode-se analisar as concepções de alunos, as dificuldades que os mesmos encontram ao resolverem problemas de física que demandem o uso de matemática, as estratégias utilizadas por professores, sequências didáticas, aspectos da formação de professores, entre outras.

Para o propósito deste estudo, resolveu-se analisar a gama de problematização da matematização da física no livro didático, pois, ainda há uma grande parte de professores que lecionam no ensino básico e superior e têm como base alguns livros didáticos que se adequem mais ao seu estilo de aula.

Nessa perspectiva, faz-se esta pergunta: **Qual o papel da matemática da física presente nos livros didáticos e manuais do ensino superior como componente formativo do ensino de física?**

Pensando sobre isso, o presente artigo fará uma análise da matemática da física em dois livros didáticos de nível básico e um manual de ensino superior de física, com base teórica-metodológica na teoria de Thomas Kuhn, no que diz respeito às considerações dessa teoria sobre a matemática da física. Tais considerações encontram-se vinculadas à noção de matriz disciplinar e seus componentes, e ao que se vem chamando de teoria do léxico (Condé, 2012).

A abordagem das análises difere das pesquisas citadas acima, no sentido de partir dos estudos da ciência, tal como o de Kuhn, no que diz respeito à noção de linguagem. Principalmente, na ênfase dada pelo autor na utilização de manuais nessa formação acadêmica, ou seja, textos com características específicas, buscando atribuir a eles o lugar onde o produto da ciência é disposto para a formação de novos integrantes das comunidades científicas (KUHN, 2011).

Nesse sentido, Kuhn traz suas concepções epistemológicas das ciências para o campo da educação ao fazer relação da formação dos cientistas ao uso de manuais didáticos para o desenvolvimento da ciência.

O primeiro exercício feito por este trabalho é de encontrar nos livros didáticos as características descritas por Kuhn nos manuais de ensino superior e a partir daí, buscar

reflexões acerca do ensino de física e como isso pode interferir nos desdobramentos das aulas e das práticas docentes.

A análise posterior se baseia nos argumentos levantados no capítulo anterior, nos quais os elementos da linguagem científica de Kuhn subsidiam com as categorias de análise, tais como: Modelos, Generalizações simbólicas, exemplares e o léxico.

3.2 OS LIVROS DIDÁTICOS E A PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

Para início, é necessário entender que a percepção da utilização dos manuais na formação dos membros de uma comunidade científica foi um dos motivos pelos quais Kuhn foi escolhido como referencial teórico-metodológico deste trabalho, mas, não o principal. Como exposto na seção anterior, a percepção de Kuhn sobre os elementos de uma linguagem científica (que, no caso da física, envolve a matemática) na sua relação com o conhecimento científico é de extrema perspicácia.

A partir daí, emergem da problemática da matematização da física no ensino uma outra forma de análise empírica. Partindo da concepção que a ciência se manifesta em diferentes formas de textos (SILVA, 2014). Os livros didáticos entram em consonância sobre o uso de textos no aprendizado de uma linguagem, no caso da física, matemática, e estabelecer um elo com a formação do estudante.

Não é novidade a problemática da matematização da física no seu ensino (KARAM 2012; PIETROCOLLA, 2002; ATAÍDE, 2012; MANNRICH 2014). Abordá-la através da teoria Kuhniana abre uma nova concepção da problemática, partindo dos estudos da ciência e chegando em sala de aula através do livro didático.

Nessa perspectiva, fez-se necessário organizar um recorte sobre qual assunto poderia ser aprofundado dentro do livro didático. Era necessário que fosse um assunto que abordasse a matemática da física de forma que tivesse grande aplicabilidade na natureza e no cotidiano e envolvesse noções importantes de física que todos os estudantes, seja ensino superior ou ensino básico precisam ter acesso. Por esses motivos, a lei física que será abordada será a Primeira Lei da Termodinâmica.

Se os objetivos têm a função de investigar no livro didático a matemática da física tal como ela é ali textualizada e refletir acerca do seu papel no ensino, também é necessário

entender como o livro didático estabeleceu aquela linguagem como componente da formação dos estudantes.

A Primeira Lei da Termodinâmica na perspectiva de Kuhn estabelece na física diversas conjunturas da linguagem científica. Primeiramente, por ser uma lei que trata de conservação de energia, ela implica uma generalização simbólica comum a todos os membros de uma comunidade científica, por poder se transformar em diversas aplicações no âmbito da termodinâmica, isto é, o membro da comunidade precisa ter o conhecimento da generalização para que possa utilizá-la em seus possíveis desdobramentos físicos.

Além do mais, é composta por pelo menos três léxicos distintos e que juntos formam uma generalização simbólica: Trabalho, Energia Interna e Calor. Cada um dos léxicos representa um aspecto inseparável da Primeira Lei da Termodinâmica.

Isso tudo, só é possível por esta lei se adequar ao modelo cinético-molecular. Essa interpretação da natureza fornece os principais subsídios para que seja possível realizar o trabalho científico partindo das atribuições da Primeira Lei da Termodinâmica. Juntamente a isso, ela ainda se manifesta em diferentes exemplares, tanto nos livros didáticos e manuais, como na prática científica.

Diante disso, a análise se deu sobre dois livros didáticos de física do ensino básico e um manual de ensino superior. O primeiro livro didático é o Física em Contexto (PIETROCOLA et al, 2016), o segundo se chama Ser Protagonista (VALIO et al, 2016). Ambos os livros estão entre as escolhas possíveis das escolas segundo o PNL 2018.

A justificativa da utilização de dois livros se dá pela diferença de abordagem da Primeira Lei da Termodinâmica entre eles.

No livro Ser Protagonista, a Primeira Lei da Termodinâmica está em destaque, no início de um capítulo e segue a sequência de definição verbal, equação (definição matemática), exercícios resolvidos e lista de exercícios. O sumário deste livro indica uma estruturação em que o foco dos capítulos está em primeiramente colocar uma definição da lei e posteriormente as aplicações com diferentes exemplares. Existe uma seção comum em todos os capítulos intitulada “Integra o aprendizado”, espaço dedicado a demonstrar as aplicações dos conceitos físicos apresentados até então. Em todos os capítulos a seção citada fica depois da apresentação dos conceitos em linguagem verbal e matemática.

Já o livro Física em Contexto é estruturado de forma em que privilegie, (mesmo que não totalmente) uma maior contextualização das noções físicas antes da demonstração das leis

envolvidas. Nesse livro, a Primeira Lei da Termodinâmica se encontra no capítulo 9 e no sumário do referido livro, não é nem um dos tópicos do capítulo, que é intitulado “Máquinas térmicas”. É possível ver também uma semelhança com os exercícios de aplicação colocados no fim de cada capítulo reafirmando a concepção tradicional de ensino, também citada por Kuhn.

O Halliday⁴, manual escolhido para a análise representando o ensino superior se deu por conta de ele ser um dos livros de física mais utilizados em graduações de física-licenciatura do país, incluindo a própria formação do autor desta dissertação, cujo livro ficava na cabeceira para as aulas de física, considerando que nas disciplinas de física tidas, o professor não só utilizou os conceitos, leis e noções físicas que ele trazia, como todas as resoluções de exercícios eram do referido livro.

A próxima seção diz respeito às análises dos três livros citados, a partir da concepção de matemática derivada dos escritos de Thomas Kuhn, conforme apresentada no capítulo anterior e sintetizada anteriormente.

3.3 ANÁLISE DOS LIVROS

Os próximos tópicos serão destinados à análise dos livros de forma mais objetiva. Será destinado um tópico para cada elemento da MD de Kuhn abordado, além de identificar os léxicos relacionados à Primeira Lei da Termodinâmica. A análise contará também, ao fim, com um debate mais aprofundado das implicações epistemológicas dessas características nos livros didáticos.

3.3.1 MODELOS

O primeiro dos itens a serem analisados diz respeito a um dos elementos da MD. Os modelos⁵ são de fundamental importância na construção da física, pois, além de fornecerem as analogias e metáforas, também delimitam a interpretação das observações a partir de uma determinada ótica. Ou seja, também circunscrevem o que pode ser pesquisado em determinado cenário (KUHN, 2006).

⁴ O livro Fundamentos da Física (HALLIDAY, D; WALKER, J; RESNICK, R, 2009) será chamado aqui apenas pelo nome “Halliday” como é popularmente conhecido nas universidades e cursos de física e engenharias.

⁵ Existem várias formas de se interpretar a palavra modelos na ciência, dessa forma, é desejo deste trabalho aprofundar posteriormente os diferentes significados atribuídos a ele.

No caso da Primeira Lei da Termodinâmica, o modelo vigente na física é o modelo cinético-molecular. É através dele que as noções físicas da termodinâmica são dispostas nos livros didáticos analisados.

É importante salientar a função que os modelos exercem na constituição da física, pois são parte fundamental no entendimento da natureza. A física é uma ciência capaz de explicar com certa precisão o funcionamento de vários elementos da natureza, como o movimento dos planetas ao redor do sol até a queda de uma laranja madura de uma árvore.

No entanto, a grande maioria dessas explicações são feitas através da óptica de um modelo, adaptado da natureza.

O modelo cinético-molecular se baseia no pressuposto de que toda a matéria é formada por partículas microscópicas que estão em permanente movimento, ou seja, em termos da física, implica em articular que elas possuem energia cinética.

O modelo que a física utiliza para representar a realidade, como se verá mais adiante, usa noções como a de “gás ideal” (um gás formado por infinitas partículas em movimento aleatório de modo que suas colisões sejam perfeitamente elásticas), isso é, um léxico adotado pela termodinâmica e que faz parte da constituição do modelo da realidade, pois, não existe na natureza um gás perfeitamente ideal. Mas, para os estudos físicos é possível considerar os gases reais dessa forma para algumas situações.

Isso implica em entrar em uma outra concepção de Kuhn de suma importância na presente análise. A interpretação, conceito da teoria Kuhniana que segundo o autor é a conexão entre a linguagem e o mundo (KUHN, 2006). Ou seja, a física usa da linguagem científica para se expressar sobre o mundo, e embutida a essa linguagem, a matemática tem papel fundamental ao descrever o mundo real. Ao fazer relação empírica com a natureza, realiza-se o que Kuhn denominou de interpretação. Mas, o mundo o qual se está fazendo essa interpretação não é a natureza que se vive no cotidiano, sem recortes, apenas ela por si só, é a natureza dos modelos, adaptada pelos físicos para falar da natureza real. Logo, sempre que se se refere à interpretação, é nesse sentido, de fazer referência empírica com a visão de mundo dos modelos, que foi atribuída pela física para explicar a realidade.

Em ambos os livros didáticos de física do ensino básico, o modelo cinético-molecular, utilizado pela física para explicar as leis da termodinâmica estão dispostos no início de cada livro. Como é possível observar nas figuras 1, 2 e 3.

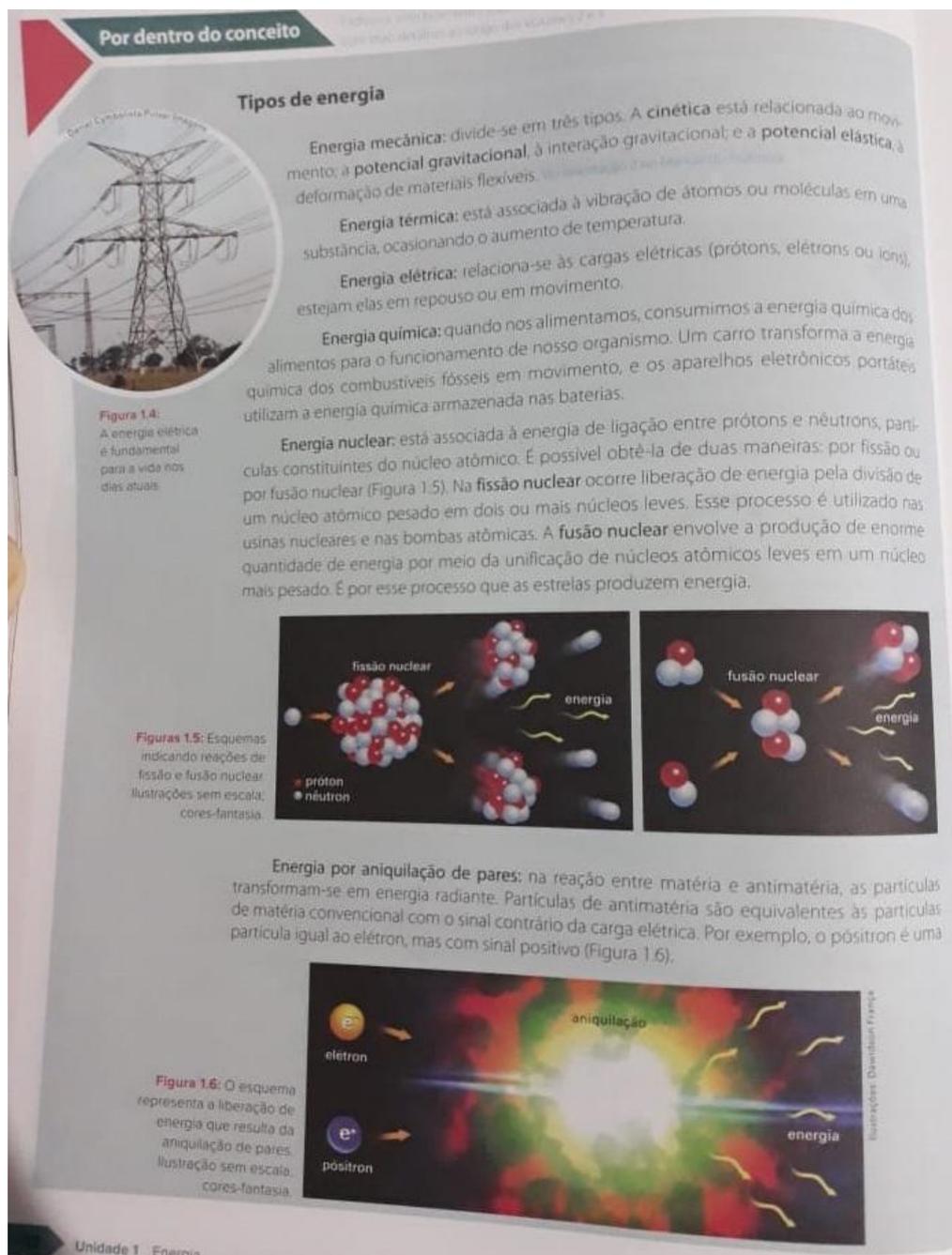
Figura 1 - Modelo cinético molecular no livro Ser Protagonista

Temperatura

Para compreendermos o conceito de temperatura, devemos entender o comportamento microscópico dos corpos. Para isso, existe a teoria cinético-molecular da matéria, segundo a qual todos os corpos são formados por partículas microscópicas (moléculas e átomos principalmente) em permanente movimento. Essas partículas têm, portanto, energia cinética. A soma da **energia cinética de translação média** (veja o box ao lado) de todas as partículas de um corpo é denominada **energia térmica**. Macroscopicamente, essa energia está relacionada diretamente à temperatura. Quanto maior a energia cinética média das partículas, maior a temperatura do corpo.

Fonte: SER PROTAGONISTA: Física, 2º ano, p. 11, 2016

Figura 2 - Modelo cinético molecular no livro Física em Contexto



Fonte: FÍSICA EM CONTEXTO, vol.2, 2016, p.12.

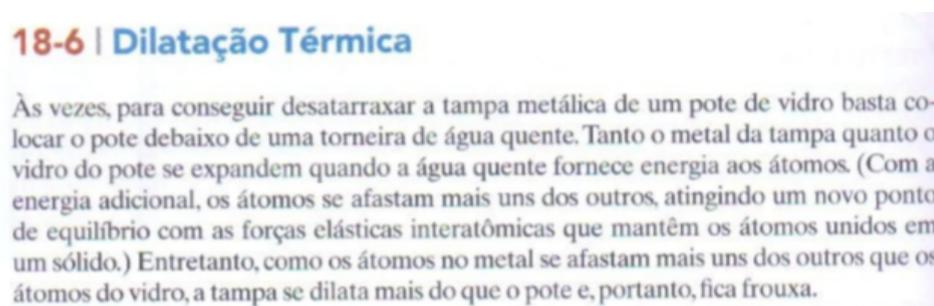
Com isso, a mensagem que o livro passa é que a partir dessa concepção de mundo é que as noções, leis e conceitos físicos relacionados à energia térmica serão explicitados. A figura 1 do livro Ser Protagonista, está localizada logo na segunda página do livro, no capítulo

intitulado “Calorimetria”, isso demonstra uma preocupação em expressar o modelo cinético-molecular logo na introdução do conceito de temperatura. Essas noções têm relação direta com a Primeira Lei da Termodinâmica, pois, um dos elementos constituintes da lei é a variação de temperatura. No entanto, essa é uma característica diferente do livro Física em Contexto, onde o primeiro capítulo do livro faz um resgate em torno da noção de “Energia”. Ao introduzir a concepção do modelo cinético-molecular aos leitores, introduz também outras formas de energia possíveis na natureza, como exposto na figura 2. Isso demonstra uma abordagem metodológica diferente de ambos os livros para com a Primeira Lei da Termodinâmica.

No entanto, é curioso notar como o modelo cinético-molecular se introduz no Halliday, manual didático de ensino superior. O livro em que o conceito da Primeira Lei da Termodinâmica aparece é o volume 2, denominado “Fundamentos da física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica”, ou seja, assim como os livros didáticos utilizados na análise, o manual não conta somente com os conceitos da termodinâmica, ele abrange outras áreas da física.

Nessa perspectiva, somente no capítulo 18 (seguindo a estrutura da coleção de livros do Halliday, onde o primeiro aborda o campo da mecânica onde são 11 capítulos, nesse caso, o capítulo 18 da continuação seria o capítulo 7 do volume 2) o conteúdo da termodinâmica é abordado. E curiosamente, não há citações diretas ao modelo cinético-molecular⁶, mas, há todas as indicações que ele está sendo utilizado como modelo, assim como nos livros didáticos.

Figura 3 - O modelo cinético molecular explícito no Halliday



Fonte: HALLIDAY, vol.2, 8 ed. 2009, p.188.

⁶ O livro detalha o que é o modelo cinético-molecular somente no capítulo 19, posterior a demonstração da Primeira Lei da Termodinâmica. Isso será aprofundado no decorrer da pesquisa.

Essa postura dos livros está de acordo com o que Kuhn (1987) havia descrito sobre a função dos manuais de ensino superior, segundo ele os manuais são dispostos de modo a mostrarem somente as leis, noções e conceitos já estabelecidos nas comunidades científicas da física. Isso ocorre para que os estudantes sejam educados seguindo a rigidez das práticas e valores da ciência normal.

3.3.2 LÉXICO

Nessa seção, será demonstrado o segundo elemento da MD de Kuhn, como ela se relaciona com os léxicos da Primeira Lei da Termodinâmica e o processo de interpretação.

O tema de termodinâmica no ensino, de modo geral tem diversas leis e noções físicas que as explicam. A lei zero da termodinâmica sobre o equilíbrio de energia térmica dos corpos, a primeira lei sobre a conservação de energia térmica, a segunda lei sobre a entropia. Para a explicação dessas leis da natureza, a física faz uso dos elementos da MD e de alguns léxicos, que por vezes tomam forma de noções físicas que ajudam a estabelecer o conhecimento científico, no caso da termodinâmica, Calor, Energia interna, Trabalho, Volume, Pressão, Temperatura, são alguns componentes do léxico que se fazem presentes nas teorias.

Segundo Kuhn, um dos principais fatores de aprendizado da física é o uso ostensivo de exemplares, ou seja, é na relação direta entre teoria e realidade, na aplicabilidade das leis que o estudante aprende (KUHN, 2006). Portanto, segundo Kuhn, os léxicos devem ser expostos aos estudantes em forma de exemplares.

Isso confirma que o papel do livro didático também está em demonstrar aos estudantes os elementos da MD, os léxicos neles envolvidos e como aquilo se aplica ao mundo.

No livro *Ser Protagonista* como exposto na figura 4, é possível notar algumas características interessantes sobre o tema da análise. Para chegar ao tópico sobre a Primeira Lei da Termodinâmica o estudante passa por um processo de conhecimento sobre os léxicos envolvidos na lei. O livro tem como premissa começar todos os capítulos com um pequeno resgate histórico dos conceitos envolvidos. Logo, nessa seção é possível encontrar léxicos importantes na compreensão da Primeira Lei para que o estudante se familiarize com eles.

Figura 4 - Léxicos da Primeira Lei da Termodinâmica na introdução ao tema

O foco da termodinâmica é a relação entre as energias térmica e mecânica e os processos de transferência de energia que fica disponibilizada para a realização de trabalho, assim como a direção das transferências de calor.

Fonte: SER PROTAGONISTA: Física, 2º ano, p. 91, 2016

É importante retificar que os léxicos envolvidos, demonstrado na figura 4 como “trabalho”, “energia térmica” e “transferências de calor” adquirem também um sentido matemático na Primeira Lei da Termodinâmica, como se verá mais adiante. Ou seja, mesmo não sendo descrita na forma matemática da matemática que se está acostumado, ela se manifesta matematicamente na Primeira Lei quando é demonstrada sua equação. O sentido de “trabalho” é diferente quando utilizado no cotidiano e quando utilizado na física, onde nesse caso também assume caráter matemático.

Um segundo aspecto importante a se notar, é a composição da matematização da Primeira Lei utilizando dos léxicos como forma constituinte de sua linguagem para explicação. Nesse caso, os léxicos englobam a definição da Primeira Lei (que neste livro em específico é destacada) como forma de complemento para a matemática de forma verbal presente como exposto na figura 5.

Figura 5 - léxicos presentes na definição da Primeira Lei da Termodinâmica

A primeira lei da termodinâmica

Até aqui foram estudados isoladamente alguns conceitos relacionados à termodinâmica. O princípio da conservação da energia permite relacioná-los por meio de algumas leis capazes de sintetizar os fenômenos termodinâmicos. A primeira lei da termodinâmica estabelece que:

A variação da energia interna ΔU de um gás ideal é obtida pela diferença entre a quantidade de calor Q recebida do ambiente externo ou fornecida para ele e o trabalho W realizado nesse processo.

Fonte: SER PROTAGONISTA: Física, 2º ano, p. 94, 2016

Primeiramente, é possível notar o que Kuhn descreve sobre as generalizações simbólicas serem também encontradas na forma verbal e não somente simbólica, formal (equacional). Ao fazer uso dos termos “variação”, “diferença”, “recebida” e “fornecida” o

livro utiliza-se da matemática como parte constituinte da explicação do fenômeno. Juntamente a isso, é possível encontrar os léxicos da Primeira Lei como “energia interna”, “gás ideal”, “quantidade de calor”, “trabalho” que dão sentido físico, vinculando a definição. E ainda, também estabelecendo uma nova categoria de léxico, ligado mais a simbologia, muito utilizada na generalização simbólica ligada às equações. Os termos “ ΔU ”, “ Q ” e “ W ” fazem parte do léxico (variação de energia interna, quantidade de calor e trabalho) que concilia, principalmente, com as generalizações simbólicas as quais fazem referência as noções físicas da Primeira Lei.

Aqui, é válido ressaltar que Kuhn, ao desenvolver sua teoria de linguagem científica e abordar a utilização dos manuais como material empírico para o ensino de futuros praticantes da ciência normal, descreveu a utilização de definições de noções físicas da seguinte forma:

[...] as definições desempenham aí um papel insignificante. Em vez de serem definidos, esses termos são introduzidos pela exposição a exemplos de seu uso, exemplos fornecidos por alguém que já pertença à comunidade linguística na qual são costumeiros (KUHN, 2006, p. 87).”

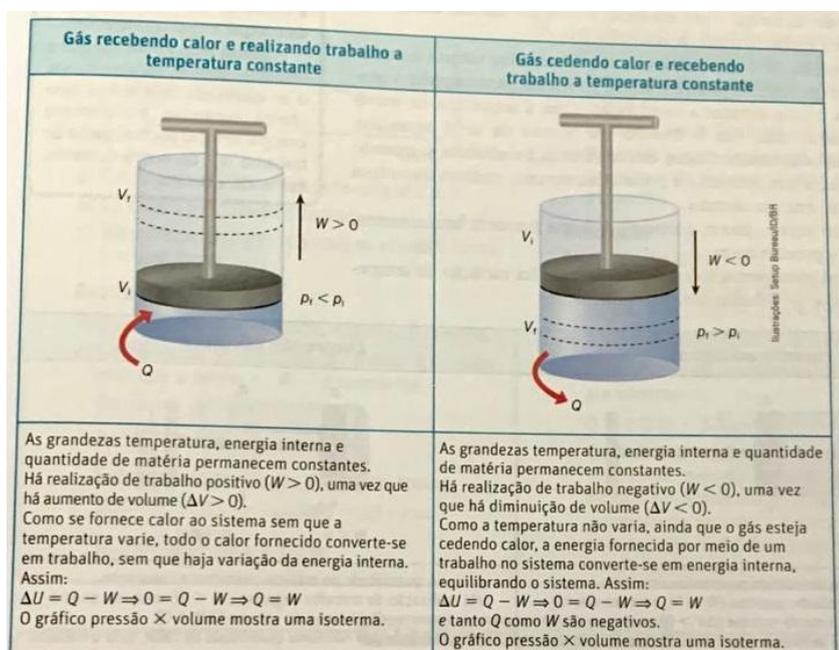
Ou seja, a introdução aos léxicos fornecidos pelo uso dos exemplares é o que fará com que o estudante entenda seu significado em sua ligação com o mundo.

Outro léxico importante na composição da estrutura da matemática na física e nesse caso, da Primeira Lei da Termodinâmica foi o que se citou anteriormente, as letras (que são léxicos) responsáveis por fazerem as equações terem sentido físico, além de serem utilizadas em outras situações fazendo correspondência com os léxicos da teoria, tal como, Trabalho = W ou τ , ou Energia Interna = ΔU e assim por diante.

Em uma situação exemplar, por vezes o esquema utilizado não é o léxico de forma verbal, mas sim uma letra que faz referência àquele conceito é de suma importância na matemática, pois principalmente as equações são pautadas nelas.

O livro Ser Protagonista traz diferentes formas de demonstrar esses léxicos, tanto na equação, como em situações exemplares visto na figura 6:

Figura 6 - Léxico em forma de simbolismos matemáticos



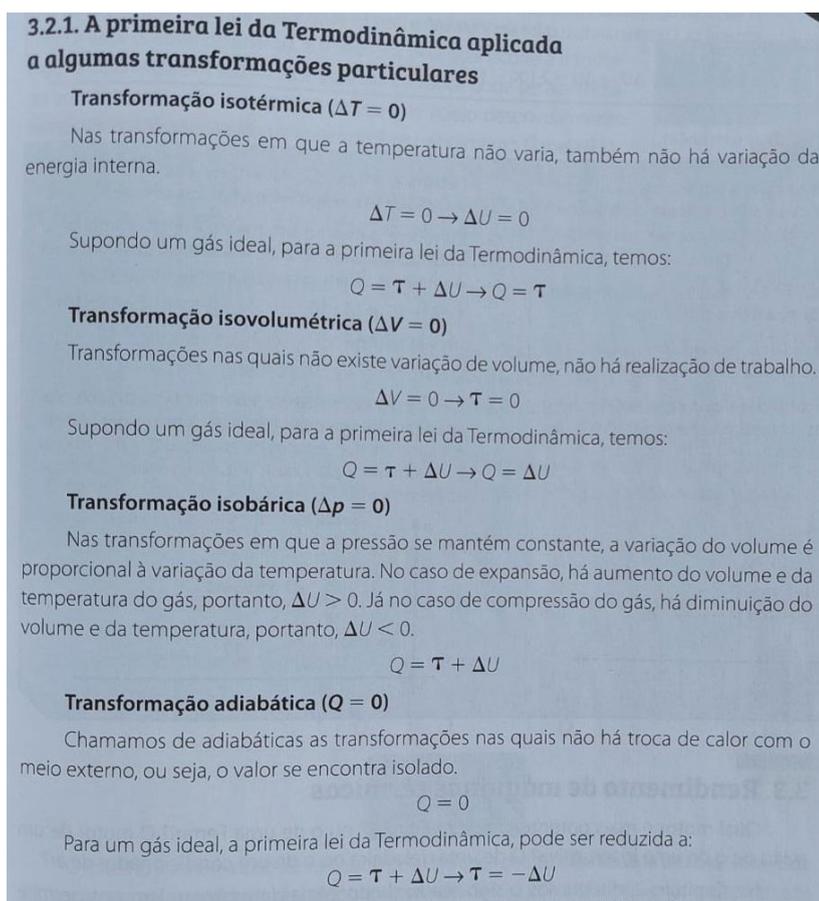
Fonte: SER PROTAGONISTA: Física, 2º ano, p. 99, 2016

Nesse caso, é uma situação exemplar para a demonstração do funcionamento de uma transformação isotérmica aplicada à Primeira Lei da Termodinâmica. Em uma isotérmica, não há variação de temperatura do sistema, no entanto, ao receber energia térmica (calor) no sistema, o volume e a pressão variam para que a temperatura permaneça constante. É o caso da primeira imagem da figura 6. O sistema está recebendo calor, o que consequentemente acarreta em um trabalho positivo, porque, se não há variação de temperatura, a energia interna permanece constante fazendo com que todo o calor seja convertido em trabalho. Isso está demonstrado na figura pelo léxico com ligação à matemática através do sinal de “>” ($W > 0$).

Na figura ao lado, o sistema está perdendo calor, os mesmos léxicos estão dispostos, no entanto, nesse caso o trabalho é negativo, também exemplificado através da matemática ($W < 0$).

Os léxicos também aparecem nos outros dois livros analisados, o “Halliday” e o Física em Contexto, dentre as diversas formas, os léxicos em forma de simbolismo matemático e também na forma verbal como vemos na figura 7 e 8.

Figura 7 - Léxico no livro física em contexto



Fonte: FÍSICA EM CONTEXTO, vol.2, 2016, p.165.

Figura 8 - Léxico no manual Halliday

18-10 | A Primeira Lei da Termodinâmica

Com vimos, quando um sistema muda de um estado inicial para um estado final tanto o trabalho W realizado como o calor Q transferido dependem da natureza do processo. Os experimentos, porém, revelaram algo surpreendente. *A grandeza $Q - W$*

Fonte: HALLIDAY, vol.2, 8 ed. 2009, p.196.

A relação entre os léxicos em forma de símbolos é de suma importância no processo de matematização da física. Eles não só têm sentido representativo de algum conceito como fazem parte da própria matemática da física. Ao se deparar com um símbolo “W” em um desenho, quando inserido no contexto da Primeira Lei da Termodinâmica ele transforma seu significado, deixa de ser um símbolo e passa a se tornar um conceito.

Esse léxico representativo é adicionado na forma matemática de entender a física. Sendo uma das suas características principais, a física traz consigo uma maneira quase que única de interpretar a realidade. Inserir léxicos em equações permite não só uma interpretação da realidade, mas a torna uma interpretação matemática da realidade.

3.3.3 GENERALIZAÇÕES SIMBÓLICAS

Nesta seção, será demonstrado o segundo elemento da MD de Kuhn, como ela se relaciona com os léxicos da Primeira Lei da Termodinâmica e o processo de interpretação.

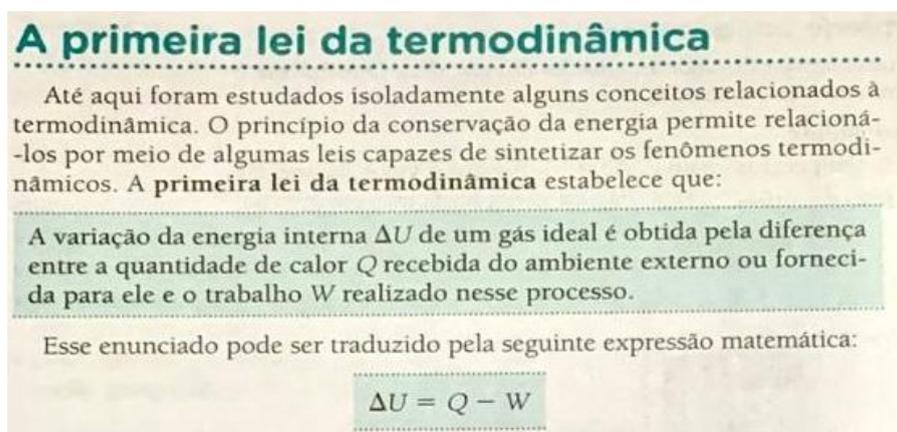
As generalizações simbólicas talvez sejam o principal elemento da MD a fazer referência direta com a matemática da física, afinal, ela aborda as equações, gráficos, tabelas etc. Mas, como vimos anteriormente, não se manifesta somente da forma simbólica formal (matemática), mas também, verbal.

Pode-se considerar também, uma outra forma de manifestação aqui, a qual a interpretação é de suma importância. Segundo Kuhn (2006), a interpretação é o processo pelo qual as generalizações simbólicas e léxicas fazem referência com a natureza. Com isso, é possível encontrar vários níveis de generalizações simbólicas. No caso da Primeira Lei da Termodinâmica, ela facilmente pode se transformar em um simples gráfico linear como, ser aplicado a problemas mais específicos que exijam uma maior capacidade lógica matemática para resolvê-la.

Nessa perspectiva, sintetiza-se as generalizações simbólicas em dois componentes: as generalizações simbólicas não interpretadas (GSnI) e as generalizações simbólicas interpretadas (GSI). Ao se referir a uma GSnI, fala-se sobre uma linguagem que não faz

diretamente uma associação a uma aplicação da lei a qual ela descreve, como por exemplo visto na figura 9:

Figura 9 - Generalização simbólica não interpretada

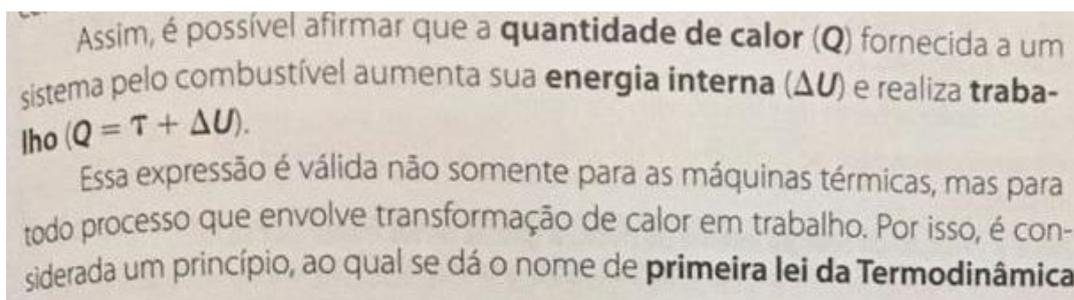


Fonte: SER PROTAGONISTA: Física, 2º ano, p. 94, 2016

A figura 9 (continuação da figura 5), demonstra a generalização simbólica não interpretada a qual todos os membros da comunidade científica devem saber. A matemática na forma equacional como descrita na imagem acima, estabelece uma única ligação: os modelos. Ela está fazendo referência a um gás ideal, que não existe na natureza, é um modelo que a linguagem da física construiu para poder fazer suas explicações e previsões da natureza.

Em contrapartida na figura 10, o livro Física em Contexto ao mencionar a Primeira Lei da Termodinâmica já a expõe com uma GSI.

Figura 10 - Generalização simbólica não interpretada



Fonte: FÍSICA EM CONTEXTO, vol.2, 2016, p.165.

Nesse exemplo, é possível identificar a equação como uma GSI porque ela está se referindo a um motor à combustão. Ou seja, uma das aplicações para a Primeira Lei da Termodinâmica. Dessa forma, a GSI também se utiliza do modelo cinético-molecular, porém, diferentemente da figura 9, ela se manifesta de forma já interpretada ao fazer conexão com um motor à combustão.

Além disso, diferenças são percebidas também na figura 11, nos léxicos estabelecidos para descrever matematicamente a Primeira Lei da Termodinâmica não somente nos livros didáticos, mas também no manual.

Figura 11 - Definição e generalização simbólica equacional da Primeira Lei da Termodinâmica no manual didático

é a mesma para todos os processos. Ela depende apenas dos estados inicial e final, e não depende de maneira alguma da forma como o sistema passou de um para o outro. Todas as outras combinações das grandezas Q e W , como Q apenas, W apenas, $Q + W$ e $Q + 2W$, são *dependentes da trajetória*; apenas $Q - W$ é independente.

Esta propriedade sugere que a grandeza $Q - W$ representa a variação de uma propriedade intrínseca do sistema. Chamamos esta propriedade de *energia interna* (E_{int}), e escrevemos

$$\Delta E_{\text{int}} = E_{\text{int},f} - E_{\text{int},i} = Q - W \quad (\text{primeira lei}). \quad (18-26)$$

A Eq. 18-26 é a expressão matemática da **primeira lei da termodinâmica**. Se o sistema termodinâmico sofre apenas uma variação infinitesimal, podemos escrever a primeira lei na forma*

$$dE_{\text{int}} = dQ - dW \quad (\text{primeira lei}). \quad (18-27)$$

A energia interna E_{int} de um sistema tende a aumentar, se acrescentamos energia na forma de calor Q , e a diminuir, se removemos energia na forma de trabalho W realizado pelo sistema.

Fonte: HALLIDAY, vol.2, 8 ed., 2009, p.196 e 197.

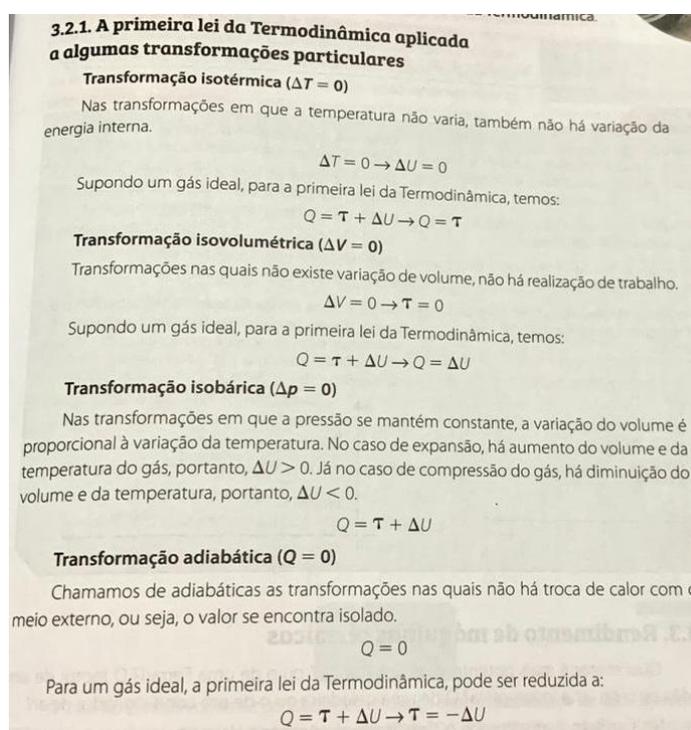
Nota-se uma diferença lexical de simbolismos para representar a Primeira Lei da Termodinâmica matematicamente, todavia, com algumas singularidades. No caso do Halliday e do Ser Protagonista, ambos são GSNI fazendo referência apenas ao modelo cinético-molecular. Enquanto no livro Física em Contexto, a apresentação da Primeira Lei é já introduzida na forma interpretada, exemplificando um motor à combustão. No entanto, nos três livros é possível notar uma relação direta da matemática, na composição da estrutura da lei. O livro Ser Protagonista usa os termos “diferença”, “recebida”, “fornecida”, o livro Física em Contexto utiliza dos termos “fornecida” e “aumenta” e o Halliday faz uso dos termos “aumentar”, “acrescermos”, “diminuir” e “removermos” como composição nas suas definições. Ou seja, são generalizações simbólicas verbais que fazem parte da constituição de uma lei fundamental da física, não sendo possível explicá-la sem isso.

Essa reflexão alerta para um outro fator importante: os níveis de interpretação, pois, no ensino de física básico, as GSI devem conter um nível mais fundamental de manipulação lógica e matemática, visto que os estudantes que as utilizam, não estão ali para trabalharem na área científica.

Neste momento, é válido ressaltar como as generalizações simbólicas se comportam em meio ao livro didático. Sabe-se que a física, segundo Kuhn, utiliza de práticas e valores sociais das comunidades científicas e da ciência normal para explicar o mundo, no entanto, a física utiliza de uma astúcia para poder explicá-lo. Quando se fala em GSI fala-se (principalmente) da matemática na forma de equação que faz uma conexão com a natureza, mas não de qualquer natureza. Como visto anteriormente, a física utiliza de modelos para adequar suas explicações e predições da natureza. Portanto, quando ao se referir a uma GSI refere-se à interpretação da física na natureza. A natureza que foi adequada a um modelo para explicar a realidade e não a natureza sem aparos.

Isso interfere no modo como elas se manifestam no livro didático, porque ainda que sejam interpretadas, elas podem ser mais específicas dentro daquela interpretação, como o exemplo exposto na figura 12:

Figura 12 - generalização simbólica interpretada nas transformações térmicas



Fonte: FÍSICA EM CONTEXTO, vol.2, 2016, p.165.

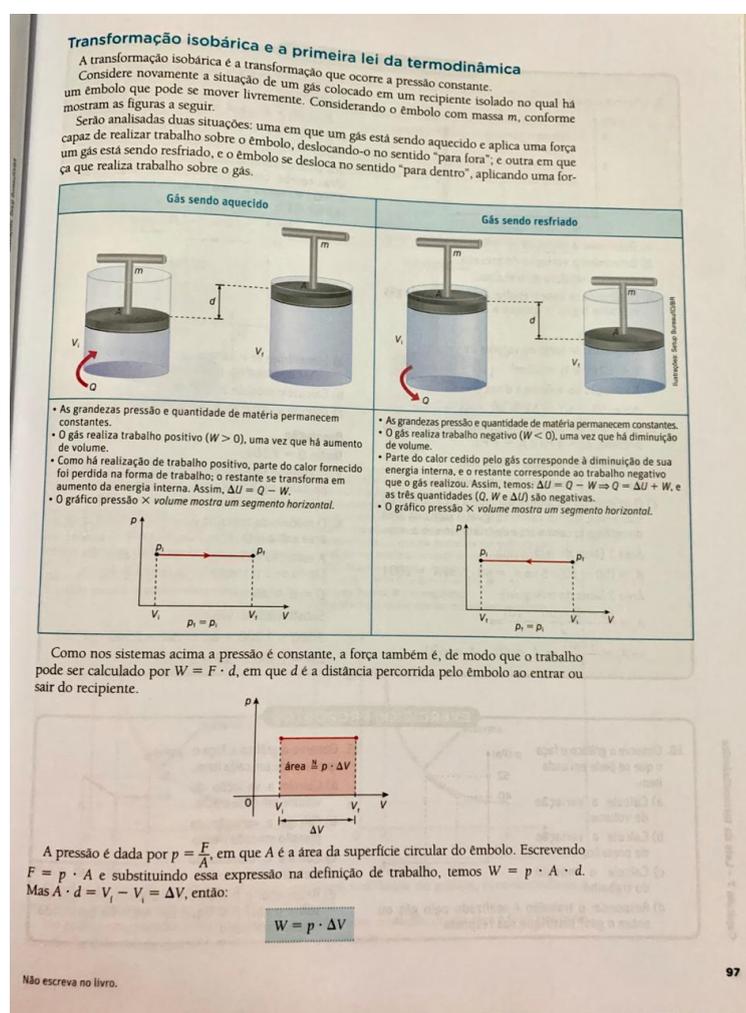
O recorte desta análise tem como tema a Primeira Lei da Termodinâmica, ela pode ser descrita em uma GSNI como descrita na figura 9. No entanto, por ser uma lei com uma ampla gama de aplicações, ela se manifesta em outras transformações térmicas, exemplo representado na figura 12. As transformações térmicas denominadas de isobárica, isotérmica, isovolumétrica e adiabáticas ocorrem quando o processo térmico acontece sem variação de pressão, sem variação de temperatura, sem variação de volume e sem troca de calor, respectivamente. Ao ser aplicada a Primeira Lei da Termodinâmica a esses casos particulares, diz-se que ela é uma GSI (como a própria nomenclatura do subtítulo “aplicações”), porém,

essas transformações podem fazer uso da Primeira Lei, em inúmeros outros casos, por esse motivo há diferentes níveis de interpretação, não somente no domínio lógico e matemático, como também na sua própria aplicação.

Existem diversas formas de utilizar a Primeira Lei em uma transformação isotérmica, o mesmo vale para as outras transformações, isso significa que a generalização simbólica terá diferentes níveis de interpretação nas aplicações.

Esse é um resultado que se pode observar também nos outros dois livros didáticos analisados. Ambos possuem os mesmos exemplos, como demonstrado na figura 13.

Figura 13 - generalização simbólica interpretada nas transformações térmicas



Fonte: SER PROTAGONISTA: Física, 2º ano, p. 97, 2016

Neste caso, o livro Ser Protagonista faz uso da Primeira Lei da Termodinâmica na aplicação de uma transformação isobárica (onde não ocorre variação de pressão no sistema termodinâmico) e desenvolve um exemplo com o léxico do gás ideal dentro de êmbolos, variando suas grandezas de forma que a pressão permaneça constante. Depois disso demonstra no fim da página uma GSI.

3.3.4 EXEMPLARES

O próximo item a ser analisado será o terceiro e último elemento da MD que será debatido aqui. Os exemplares para Kuhn (2006) poderiam ser chamados de paradigmas, pois eles oferecem às comunidades científicas e ao desenvolvimento da ciência normal todas as características dos paradigmas que foram debatidas por Kuhn no livro A estrutura das revoluções científicas.

Segundo Kuhn (2006) os exemplares se mostram principalmente como soluções padrões de problemas que os estudantes encontram nos manuais didáticos na sua formação. Eles têm papel fundamental no desenvolvimento da ciência e também no ensino da mesma.

Ambos os livros didáticos analisados estão repletos deles, servindo como apoio pedagógico não somente para os estudantes, mas também pelos professores para demonstrar as aplicações das noções e leis físicas estudadas. Como exposto nas figuras 14 e 15.

Figura 14 - Exemplares do estilo resolução de problemas lógicos matemáticos no livro Ser Protagonista

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. Um gás ideal contido em um sistema de cilindro e êmbolo recebe uma quantidade de calor igual a 5 000 calorias e tem aumento da energia interna de 1 500 calorias. Calcule o trabalho realizado pelo sistema.

Resolução
 Dados: $\Delta U = 1\,500$ cal; $Q = 5\,000$ cal
 O calor é transmitido do meio para o gás, portanto Q é positivo: $Q = +5\,000$ cal
 A energia interna sofreu variação positiva:
 $\Delta U = +1\,500$ cal
 Aplicamos a primeira lei da termodinâmica:
 $\Delta U = Q - W \Rightarrow W = Q - \Delta U$
 Substituindo os valores de Q e ΔU , temos:
 $W = 5\,000$ cal $- 1\,500$ cal $\Rightarrow W = 3\,500$ cal

2. Um gás ideal que está contido em um sistema de cilindro e êmbolo possui 10 mols e sofre um aumento de pressão de 2 Pa para 8 Pa. O volume permanece constante e igual a $4,15$ m³. Considere $R = 8,3$ J/mol \cdot K. Calcule:

- a variação de pressão do gás;
- a variação da temperatura;
- a variação da energia interna;
- a quantidade de calor trocada com o ambiente.

Resolução
 Dados do problema: $n = 10$ mols; $p_i = 2$ Pa; $p_f = 8$ Pa; $V = 4,15$ m³

- A variação da pressão é dada por: $\Delta p = p_f - p_i$
 $\Delta p = 8 - 2 \Rightarrow \Delta p = 6 \therefore \Delta p = 6$ Pa
- Para calcular a variação da temperatura, usamos a lei dos gases ideais: $\Delta p \cdot V = n \cdot R \cdot \Delta T$
 $6 \cdot 4,15 = 10 \cdot 8,3 \cdot \Delta T \Rightarrow 24,9 = 83 \cdot \Delta T \Rightarrow$
 $\Rightarrow \Delta T = \frac{24,9}{83} \Rightarrow \Delta T = 0,3 \therefore \Delta T = 0,3$ K
- Para calcular a variação da energia interna, usamos a definição: $\Delta U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T$
 $\Delta U = \frac{3}{2} \cdot 10 \cdot 8,3 \cdot 0,3 \Rightarrow \Delta U = 37,35$
 $\therefore \Delta U = 37,35$ J
- Como o volume permanece constante, isto é, o êmbolo não se desloca, não há trabalho realizado ($W = 0$).
 Aplicando a primeira lei da termodinâmica, temos:
 $Q = W + \Delta U \Rightarrow Q = 0 + \Delta U$
 $Q = \Delta U \Rightarrow Q = 37,35 \therefore Q = 37,35$ J

Fonte: SER PROTAGONISTA: Física, 2º ano, p. 95, 2016

Figura 15 - Exemplos do estilo resolução de problemas lógicos matemáticos no livro Física em Contexto

Exercício resolvido

O motor 250 cc de uma motocicleta realiza um trabalho de 500 J enquanto recebe 500 cal de energia (calor) por ciclo. Trata-se de um motor bicilíndrico, isto é, constituído de 2 cilindros. (Considere 1 cal = 4,2 J.)

- Qual é o deslocamento de cada cilindro por ciclo?
 Se a cilindrada do motor de 2 cilindros é de 250 cc, cada cilindro desloca 125 cm³ da mistura gasosa por ciclo.
- Qual é a variação da energia interna da mistura gasosa desse motor por ciclo?
 A variação da energia interna é a diferença entre o calor recebido pelo motor e o trabalho que ele realiza. Considerando o calor em joules ($Q = 500$ cal = $500 \cdot 4,2 = 2\,100$ J), temos:
 $Q = \tau + \Delta U$
 $2\,100 = 500 + \Delta U \Rightarrow \Delta U = 2\,100 - 500 = 1\,600$ J

Fonte: FÍSICA EM CONTEXTO, vol.2, 2016, p.166.

Ambos os exemplares (figura 14 e 15) retirados dos livros didáticos de física básica estão localizados logo após a exposição da Primeira Lei da Termodinâmica. É possível notar a clara tendência da exposição a aplicação da lei ser em uma situação problema que os instigue à manipulação lógica e matemática com equações e um resultado numérico empírico.

O “Halliday”, manual didático também segue a mesma premissa. Logo após a exposição da Primeira Lei da Termodinâmica há um espaço dedicado a um exemplar resolvido para que os estudantes compreendam a estrutura de aplicação da Lei estudada. Demonstrada na figura 16.

Figura 16 - Exemplos do estilo resolução de problemas lógicos matemáticos no manual didático Halliday

Exemplo 18-5

Suponha que 1,00 kg de água a 100°C é convertido em vapor a 100°C à pressão atmosférica padrão (1,00 atm = $1,01 \times 10^5$ Pa) no arranjo da Fig. 18-17. O volume da água varia de um valor inicial de $1,00 \times 10^{-3}$ m³ do líquido para 1,671 m³ do vapor.

(a) Qual é o trabalho realizado pelo sistema durante esse processo?

IDÉIAS-CHAVE (1) O trabalho realizado pelo sistema é positivo, já que o volume aumenta. (2) Podemos calcular o trabalho W integrando a pressão em relação ao volume (Eq. 18-25).

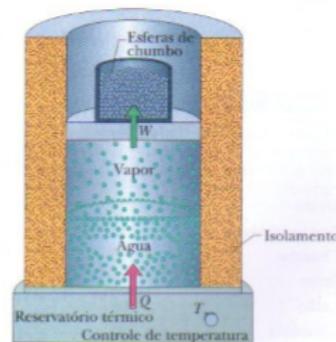
Cálculo: Como a pressão é constante, podemos colocar p do lado de fora do sinal de integração. Temos, portanto,

$$\begin{aligned} W &= \int_{V_i}^{V_f} p \, dV = p \int_{V_i}^{V_f} dV = p(V_f - V_i) \\ &= (1,01 \times 10^5 \text{ Pa})(1,671 \text{ m}^3 - 1,00 \times 10^{-3} \text{ m}^3) \\ &= 1,69 \times 10^5 \text{ J} = 169 \text{ kJ.} \end{aligned} \quad (\text{Resposta})$$

(b) Qual a energia é transferida em forma de calor durante o processo?

IDÉIA-CHAVE Como o calor provoca apenas uma mudança de fase (a temperatura é a mesma nos estados inicial e final), ele é dado integralmente pela Eq. 18-16 ($Q = Lm$).

FIG. 18-17 Água fervendo a pressão constante. A energia é transferida do reservatório térmico, em forma de calor, até que toda a água se transforme em vapor. O gás se expande e realiza trabalho ao levantar o êmbolo.



Cálculo: Como a mudança é da fase líquida para a fase gasosa, L é o calor de vaporização L_v da água, cujo valor aparece na Eq. 18-17 e na Tabela 18-4. Temos:

$$\begin{aligned} Q &= L_v m = (2256 \text{ kJ/kg})(1,00 \text{ kg}) \\ &= 2256 \text{ kJ} \approx 2260 \text{ kJ.} \end{aligned} \quad (\text{Resposta})$$

(c) Qual é a variação da energia interna do sistema durante o processo?

IDÉIA-CHAVE A variação na energia interna do sistema está relacionada ao calor (no caso, a energia transferida

Fonte: HALLIDAY, vol.2, 8 ed., 2009, p.199.

É possível notar a diferença de nível na manipulação lógica e matemática que é cobrado de estudantes de ensino básico e estudantes de uma graduação. Isso é facilmente explicado quando se compara o patamar escolar e o desenvolvimento cognitivo de ambos os estudantes. No entanto, é interessante notar que as noções demonstradas na figura 16 são de um complexo arranjo matemático. Quanto mais profundamente o fenômeno for sendo estudado, maior deve ser a capacidade do estudante de entender a matemática. Operações como integrais e derivadas são apreendidas em física no âmbito da aplicação de suas noções, no entanto, é necessário que o estudante concomitantemente ou anteriormente a ter acesso a isso, ele tenha acesso ao que são esses produtos matemáticos utilizados pela física.

A próxima seção será destinada a relacionar todos os elementos da MD descritos até aqui e demonstrados através dos livros didáticos e sua relação com a matemática da física.

3.4 OS ELEMENTOS DA MATRIZ DISCIPLINAR, O LÉXICO E A MATEMÁTICA DA FÍSICA

Um exemplar geralmente não aparece sozinho por ele mesmo, ele é descrito na forma que os modelos e as generalizações simbólicas se manifestem também através dele. Faz uso dos léxicos das noções físicas e revela-se uma estrutura de ensino-aprendizagem muito utilizada na física.

Segundo Kuhn (2006), o aprendizado da física se dá por meio da exposição do aluno a exemplares, ou seja, é no uso e na aplicação das noções físicas que os estudantes aprendem. É por esse motivo que os livros didáticos e manuais estão repletos de resoluções de problemas.

Porém, há inúmeras formas dos exemplares se manifestarem nos livros didáticos e manuais. A grande maioria deles são destinados a problemas de lógica e matemática, onde o estudante é exposto a situações problemas que exijam dele essa habilidade de demonstrar um resultado numérico com significado na noção física estudada, como demonstrado nas figuras da seção anterior (KARAM, 2012).

No entanto, também é possível encontrar situações exemplares em que o objetivo é introduzir um tema a ser estudado ou fazer com que o estudante reflita o tema exposto e assim por diante. Nesse sentido, a figura 17 que remete ao livro Física em Contexto se destaca nas análises por introduzir o tema da Primeira Lei da Termodinâmica através de situações exemplares:

Figura 17 - Exemplar como forma de introdução a discussão do tema físico



Fonte: FÍSICA EM CONTEXTO, vol.2, 2016, p.156.

A figura 17 está localizada oito páginas antes de o livro didático citar a Primeira Lei da Termodinâmica como tópico de estudo. No entanto, é possível observar alguns traços dela na forma de exemplar. Como se sabe, uma máquina térmica obedece às Primeira Lei da Termodinâmica no sentido de receber uma determinada quantidade de calor e realizar trabalho com uma parte e variar sua energia interna com o restante, compactuando com os princípios de conservação de energia térmica. A introdução do exemplar anterior à exposição do princípio termodinâmico fundamental, demonstra a capacidade que um exemplar tem de ser responsável pelo aprendizado através da exposição a eles.

É possível notar mais uma vez a relação matemática exposta para a sua introdução. As generalizações simbólicas verbais aparecem na definição do que são as máquinas térmicas ao fazer uso do termo “expandir”. Também é possível notar que mesmo o exemplar não fazendo uma relação direta com a Primeira Lei da Termodinâmica, faz uso do léxico trabalho ao citar “empurrar uma parte mecânica móvel”.

Ainda é válido ressaltar que os léxicos, as generalizações simbólicas e os exemplares são regidos pelo modelo cinético-molecular da matéria, o qual também é um elemento da MD.

Nessa perspectiva, o livro Física em Contexto contrasta uma abordagem que diverge dos outros dois livros analisados. Aqui, há uma correlação mais direta com o que Kuhn (2006) fala sobre o aprendizado da física ocorrer através da exposição aos exemplares.

No entanto, há outras formas dos exemplares se relacionarem com os elementos da MD e com os léxicos. A vida de um estudante de física na graduação é composta pela ostensão a resolução de situações exemplares (KUHN, 2006). Nesse sentido, os exemplares são expostos de diferentes formas. No entanto, quase que em sua totalidade de aparições, são compostas pelos léxicos da teoria e por generalizações simbólicas interpretadas.

Nessa perspectiva, os livros analisados trazem consigo inúmeros exemplares, grande parte no sentido de fazer com que o estudante desenvolva um raciocínio matemático com o uso das generalizações simbólicas em forma de equação, mas, existem alguns exemplos diferentes, como o exemplo descrito pela figura 18.

Figura 18 - Exemlar com a generalização simbólica verbal

CONCEITO EM QUESTÃO



Para encher o pneu de uma bicicleta, uma pessoa comprime o ar aplicando uma força que realiza trabalho sobre uma bomba.

Considerando a primeira lei da termodinâmica, reflita para responder às seguintes questões:

1. O que acontece com a quantidade da energia interna do pneu: aumenta, diminui ou permanece constante?
2. O que acontece com a temperatura do pneu: aumenta, diminui ou permanece constante?
3. Se a pessoa deixar de aplicar força sobre a bomba e o ar se expandir, de modo que o êmbolo seja empurrado para cima, o que acontecerá com a energia interna e com a temperatura do pneu?

Fonte: SER PROTAGONISTA: Física, 2º ano, p. 94, 2016

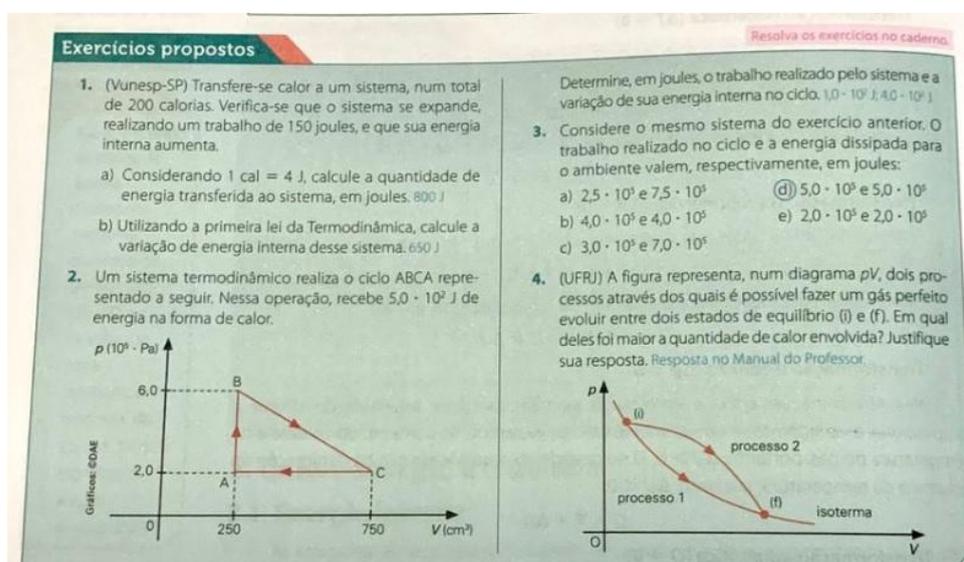
A figura 18 é encontrada no canto direito da página, onde a definição da Primeira Lei da Termodinâmica é descrita no livro Ser Protagonista. É um livro que segue a disposição mais tradicional de ensino, dando grande ênfase à definição e colocando em destaque a generalização simbólica não interpretada, que é de conhecimento de todos os membros de uma comunidade científica. Com isso, o exemplar demonstrado tem função de não somente fazer com que o estudante reflita acerca da Lei física, como transportá-la para seu cotidiano e demonstrar que o fenômeno sendo ensinado tem aplicação na realidade que ele convive.

É possível observar que esse é um exemplar que não carece de uma manipulação lógica e matemática, no entanto, não significa que a matemática não esteja presente. Ao se utilizar dos termos “aumenta”, “diminui” e “expandir” ela utiliza de generalizações simbólicas verbais para fazer uso da Primeira Lei através do exemplar.

É possível notar como a constituição dos elementos da MD e os léxicos se completam na linguagem da física. Como dito anteriormente, a Primeira Lei da Termodinâmica conta com diversos léxicos, energia interna, trabalho, quantidade de calor, entre outros. Também conta com diversas generalizações simbólicas, tanto matemáticas na forma de equação e gráficos como na forma verbal. E tudo isso deve ser englobado por um modelo que limita e abre possibilidades de abordagens das noções físicas estudadas. Todos esses aspectos são encontrados nos exemplares, que segundo Kuhn (2006) é um elemento chave para a carreira do estudante.

Todos os três livros analisados têm em comum uma grande quantidade de exemplares com resoluções matemáticas na forma de equações e gráficos, exemplos das figuras 19, 20 e 21.

Figura 19 - Exemplares na forma de exercícios propostos no livro Física em Contexto



Fonte: FÍSICA EM CONTEXTO, vol.2, 2016, p.166.

Figura 20 - Exemplos na forma de exercícios propostos no livro Ser Protagonista

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

3. Um êmbolo livre como o da figura ao lado se move no sentido "para fora" graças à entrada de uma quantidade de calor igual a 3 000 cal em um recipiente com um gás ideal. O trabalho realizado sobre o êmbolo é igual a 2 000 cal.

a) Descreva o modo como varia a energia interna do sistema. Diga se ela aumentou, diminuiu ou permaneceu constante.

b) Calcule a variação da energia interna.

4. Considere ainda o êmbolo e o gás do exercício anterior, porém imagine que o êmbolo se move no sentido "para dentro", de modo que o gás recebe um trabalho igual a 4 000 cal. A energia interna diminui em 2 000 cal.

a) Diga se o sistema recebeu ou cedeu calor.

b) Calcule a quantidade de calor trocada com o meio.

c) Explique o que acontece com a variação da temperatura do sistema no processo observado.



5. Classifique a seguinte afirmação como falsa ou verdadeira: "Dois sistemas podem ter as temperaturas iniciais e as finais diferentes e a mesma variação de energia interna". Justifique sua resposta.

6. Um gás ideal que está contido em um sistema de cilindro e êmbolo possui 2 mols e sofre um aumento de pressão de 11 Pa para 16 Pa. O volume permanece constante e igual a 0,332 m³. Considere $R = 8,3 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$. Calcule:

a) a variação de pressão do gás;

b) a variação da temperatura;

c) a variação da energia interna;

d) a quantidade de calor trocada com o ambiente.

7. Um gás monoatômico tem sua temperatura variando de 150 °C para 50 °C. A energia interna varia em 16 620 cal.

a) Descreva como foi possível variar a energia interna.

b) Explique o que muda no grau de agitação de seus átomos.

c) Calcule a quantidade de matéria desse gás monoatômico.

Fonte: SER PROTAGONISTA: Física, 2º ano, p. 95, 2016

Figura 21 - Exemplos na forma de exercícios propostos no manual didático Halliday

seção 18-11 Alguns Casos Especiais da Primeira Lei da Termodinâmica

***43** Um gás em uma câmara fechada passa pelo ciclo mostrado no diagrama p - V da Fig. 18-37. A escala do eixo horizontal é definida por $V_1 = 4,0 \text{ m}^3$. Calcule a energia líquida adicionada ao sistema em forma de calor durante um ciclo completo.

***44** Um trabalho de 200 J é realizado sobre um sistema, e uma quantidade de calor de 70,0 cal é removida do sistema. Qual é o valor (incluindo o sinal) (a) de W , (b) de Q e (c) de ΔE_{int} ?

***45** Na Fig. 18-38 uma amostra de gás se expande de V_0 para $4,0V_0$ enquanto a pressão diminui de p_0 para $p_0/4,0$. Se $V_0 = 1,0 \text{ m}^3$ e $p_0 = 40 \text{ Pa}$, qual é o trabalho realizado pelo gás se a pressão varia com o volume de acordo (a) com a trajetória A, (b) com a trajetória B e (c) com a trajetória C?

***46** Um sistema termodinâmico passa do estado A para o estado B, do estado B para o estado C e de volta para o estado A, como mostra o diagrama p - V da Fig. 18-39a. A escala do eixo vertical é definida por $p_1 = 40 \text{ Pa}$, e a escala do eixo horizontal é definida por $V_1 = 4,0 \text{ m}^3$. (a)–(g) Complete a tabela da Fig. 18-39b introduzindo um sinal positivo, um sinal negativo ou um zero nas células indicadas. (h) Qual é o trabalho líquido realizado pelo sistema em um ciclo ABCA?

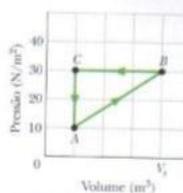


FIG. 18-37 Problema 43.

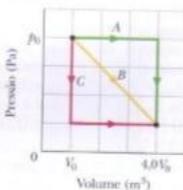
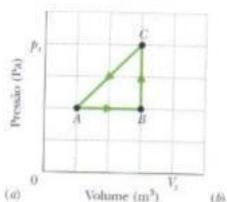


FIG. 18-38 Problema 45.



	Q	W	ΔE_{int}
A \rightarrow B	(a)	(b)	+
B \rightarrow C	+	(c)	(d)
C \rightarrow A	(e)	(f)	(g)

Fonte: HALLIDAY, vol.2, 8 ed, 2009, p.209

Na perspectiva kuhniana, o treinamento do estudante se dá dessa forma por ser esse o trabalho que ele encontrará quando estiver trabalhando com as práticas e valores da ciência normal (KUHN, 2011). A resolução de problemas será uma prática recorrente em seu cotidiano na ciência, com isso, o estudante se apropria da linguagem da física de forma a visualizar e compreender a realidade através dos exemplares (KUHN, 2006).

Ou seja, a prática coerciva de resolução desses problemas fomentará no estudante um senso de similaridade de entender que os problemas que ele está se deparando no seu trabalho na ciência normal é similar aqueles que esteve resolvendo durante todo o percurso da sua educação (KUHN, 2011).

No entanto, é importante ressaltar que Kuhn faz a análise baseada no estudante que seguirá uma carreira científica, não há uma preocupação em entender como esses elementos epistemológicos funcionam no ensino básico de física.

Nesse sentido, é importante observar os objetivos de ensino da física básica, pois, não se trata de treinar o estudante para as práticas e valores da ciência normal, mas sim, fazer com que ele tenha noção básica dos fenômenos físicos e que são encontrados em sua realidade. Dando os subsídios necessários para que ele possa entender os limites e possibilidades do conhecimento científico e também a caracterizá-lo.

Nessa perspectiva, os exemplares têm diferentes funções epistemológicas e práticas na educação básica, no entanto, são mais explorados no caráter da lógica matemática. Assim, entende-se que, não necessariamente o estudante precise estar em contato com um problema de manipulação lógica e matemática para que entenda como fazê-la.

Explorar o exemplar de modo a demonstrar aos estudantes suas possibilidades pode fornecer uma variedade de abordagens e maior possibilidade de aprendizagem. Não somente em resolver problemas, mas, fazer com que ele tenha consciência do papel da física na realidade e entender as diferentes facetas do fenômeno.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATAÍDE, A. R. P. de. **O papel da matemática na compreensão de conceitos e resolução de problemas de termodinâmica**. 180 f. Tese (Doutorado) -Universidade Federal da Bahia, Salvador. 2012.

- BALLESTERO, H. C. E. **Aprendizagem significativa da linguagem física em um curso de introdução à mecânica clássica no ensino superior**. 134 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.
- BRASIL, **Guia PNLD Literário 2018**. Ministério da Educação. Brasília. 2018.
- CLEMENT, Luiz; TERRAZZAN, A.; NASCIMENTO, Tiago Belmonte. Resolução de problemas no ensino de Física baseado numa abordagem investigativa. **Atas do IV ENPEC**, 2003.
- CONDÉ, Mauro L. **Book Review: Stefano Gattei Thomas Kuhn's Linguistic Turn and the Legacy of Logical Empiricism: Incommensurability, Rationality, and the Search for Truth**. 2012.
- HALLIDAY, D; WALKER, J; RESNICK, R. **Fundamentos de Física**. v.2. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- KARAM, R. A. S. **Estruturação matemática do pensamento físico no ensino: uma ferramenta teórica para analisar abordagens didáticas**. 292 f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- KUHN, T.S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo, Perspectiva, (1987) [1969]
- KUHN, T. S. **A Tensão Essencial**. São Paulo: Editora da Unesp, 408 p, (2011) [1977/1974]
- KUHN, Thomas S. **O caminho desde a estrutura**. Editora da Unesp, 2006.
- MANNRICH, J. P. **Linguagem matemática, Física e Ensino: como licenciandos discutem essa relação**. 258 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.
- RAMALHO, Vagner Gomes. **O desenvolvimento da ciência segundo Thomas S. Kuhn : análise e crítica do modelo proposto na estrutura das revoluções científicas**. 2014. 90 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2014.
- SILVA, Henrique César Da. Ciência, Política, Discurso e Texto: Circulação e Textualização: Possibilidades no Campo da Educação Científica e Tecnológica. **Ciência & Ensino (ISSN 1980-8631)**, v. 3, n. 1, p. 71-94, 2014.
- VALIO, A.B.M _et al_. **Ser protagonista: física 2 - Ensino Médio**. 3 ed. São Paulo: Edições SM, 2016.
- ZYLBERSZTAJN, Arden. **Revoluções científicas e ciência normal na sala de aula**. MOREIRA, MA; AXT, R. **Tópicos em Ensino de Ciência**. Porto Alegre, Sagra, 1991.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Thomas Kuhn evoluiu a sua teoria da produção do conhecimento científico conforme sua obra foi se desenvolvendo. O autor deu alguns indícios da linguagem científica na republicação de *Estrutura das revoluções científicas* (1969). Como a primeira concepção de Matriz Disciplinar e seus elementos, posteriormente, passou a conceber o aprendizado de uma nova teoria científica como o aprendizado de uma nova linguagem (KUHN, 2006).

Durante o processo de ressignificação de seus conceitos e teorias, destacam-se a construção dos elementos da Matriz Disciplinar e das outras características da linguagem científica, tal como léxico e a noção epistemológica da interpretação. Através desses elementos, foi possível observar e analisar uma relação intrínseca entre a matemática e a linguagem científica da física.

Os elementos da Matriz Disciplinar, tal como as generalizações simbólicas (interpretadas e não interpretadas), exemplares e modelos, bem como o léxico e o elemento epistemológico da interpretação foram encontrados nas três análises de livros didáticos feitos neste trabalho, sejam eles de ensino básico ou ensino superior.

Concomitantemente a isso, foi possível observar que a matemática tem papel fundamental na linguagem científica da física, segundo a concepção de Thomas Kuhn. Ela aparece nas generalizações simbólicas, está relacionada ao léxico, aparece nos exemplares e modelos.

Dessa forma o aprendizado da linguagem científica da física se dá através da sua relação dos elementos da Matriz Disciplinar entre si, elementos esses que estabelecem a relação entre o léxico e o mundo pelo seu uso e que esses elementos aparecem fazendo diferentes conexões em diferentes livros didáticos.

Nessa perspectiva, a linguagem científica proposta por Kuhn nos deu muitos argumentos e pressupostos para que pudesse ser feita uma análise análoga ao que Kuhn fez com a carreira que um físico leva para se formar.

Ao observar a carreira que um físico leva para atuar dentro de uma comunidade científica, Kuhn descreveu algumas características importantes do processo pedagógico de coerção que um físico passa ao longo da sua trajetória acadêmica.

Apesar de Kuhn não estar articulando sua teoria com o ensino básico, mas sim, sobre a produção do conhecimento científico que no desenvolvimento da sua teoria acaba por entrar

no campo da formação dos cientistas, ou seja, o campo pedagógico da física, sua teoria revela-se com grande potencial para análise da linguagem matemática na física e no seu ensino.

Nessa perspectiva, buscou-se analisar se essas características estavam relacionadas também ao ensino básico no que tange às competências dos livros didáticos relacionados a matemática presente dentro da linguagem científica proposta por Kuhn.

No caso específico da linguagem científica da física a matemática assume um papel importante. Kuhn em algumas passagens da sua obra destacou que a matemática exerce um papel fundamental para a física. Um exemplo disso foi na introdução do conceito de generalizações simbólicas em que o autor usa o exemplo do léxico equacional da segunda lei de Newton para descrever como ela pode se desdobrar em um outro léxico matemático interpretado, ou seja, fazendo relação com o mundo (KUHN, 1987).

O fato de a utilização da matemática estar presente dentro do âmbito da física fez com que a curiosidade sobre sua relação com o ensino instigasse o presente trabalho. Dentro do que vimos da teoria de Kuhn, ela não só é fundamental, como exerce também um papel de reflexo com o mundo real, na estrutura referencial da linguagem.

A utilização da matemática como componente integrativo da linguagem científica da física está presente em diversos âmbitos da linguagem científica descrita por Kuhn. No entanto, é válido ressaltar que o presente trabalho teve como objetivo investigar a relação da matemática presente na física utilizando como base teórica a linguagem científica de Kuhn, que, por mais vasta que seja, nunca se referiu à aprendizagem do ensino básico e sim à formação de novos físicos.

Foi possível observar que os elementos da MD estão presentes tanto nos livros didáticos de ensino de física básico, quanto de ensino superior, pelo menos em estrutura. No entanto, é válido observar que apesar de ter o mesmo destino (a sala de aula) os livros não têm (ou não deveriam ter) o mesmo objetivo, por se tratar de objetivos formativos diferentes.

Um livro de ensino superior tem como objetivo ensinar a linguagem científica da física para os estudantes de modo que eles passem a pensar e trabalhar como membros de uma comunidade científica. As características nele contidas devem ter o foco de formar o estudante para reproduzir a linguagem científica da teoria que está no livro, ou seja, reproduzir em seu trabalho as práticas de uso da linguagem que aprendeu.

O fato de termos encontrado semelhanças estruturais na apresentação da Primeira Lei da Termodinâmica, tanto no livro de ensino superior quanto nos livros de ensino básico de física e todos os elementos da Matriz Disciplinar presentes, pressupõe-se que seja um dos motivos que faz o ensino de física ainda ser tão mecanizado em resoluções de exercícios. Afinal, segundo Kuhn (2011) a formação de um físico é baseada no uso ostensivo de resolução de exemplares através da similaridade de problemas já resolvidos anteriormente.

Segundo Kuhn (2006), a dificuldade que os estudantes (se referindo aos do ensino superior em formação para serem futuros físicos) têm na resolução de problemas matemáticos desaparece quase que da mesma forma que surgem, ou seja, quando eles compreendem que as soluções problemas dos exemplares com que eles estão se deparando no momento é similar àquelas eles já resolveram anteriormente. Também é por esse motivo que sempre há uma solução de exemplar como exemplo após a apresentação da teoria. A textualização da física no livro tenta dar os subsídios a eles sobre qual será sua atividade futura.

O aprendizado de uma nova linguagem segundo Kuhn (2006; 2011) é feito através do seu uso, principalmente em exemplares, que vai indicar implicitamente as regras que relacionam a linguagem com o mundo. No ensino superior, ela é feita de forma ostensiva, no que diz respeito à repetição e aprofundamento dado a linguagem científica proposta do que deveria ser no ensino básico, mas, ao usar dos mesmos artifícios e estruturas compostos na formação do físico através do livro didático, o docente acaba transferindo a responsabilidade de aprofundar e estabelecer uma relação entre linguagem científica e mundo em que o estudante do ensino básico não terá condições de chegar pelas diferenças de propostas e objetivos dos níveis de formação.

Um livro didático de ensino básico não tem o papel de formar um novo físico, mas sim, de passar uma primeira e básica concepção dos conceitos físicos dados como mais importantes pelo plano de ensino. Um estudante de ensino médio não deveria passar pelo uso ostensivo dos léxicos da linguagem científica para aprender a linguagem da física composta nos livros didáticos básicos.

Em suma, o fato das características e elementos da matriz disciplinar serem encontrados tanto em livros de ensino superior quanto de ensino básico e serem passados tradicionalmente ano após ano, não deveria justificar a mesma forma de ensino para os dois níveis pois há um objetivo diferente em jogo.

Nessa perspectiva, é válido ressaltar que os livros didáticos de ensino básico têm perspectivas diferentes de exploração da linguagem científica da física. Pudemos observar que o livro *Ser Protagonista* foi mais direto e tradicional na sua forma de abordar a Primeira Lei da Termodinâmica enquanto o livro *Física em Contexto* trouxe exemplares interpretados da Primeira Lei da Termodinâmica como forma de introduzir o estudante ao problema antes de apresentá-lo ao léxico propriamente dito.

Entretanto, uma das diferenças possíveis de se observar entre os livros didáticos de física do ensino superior e ensino básico está na complexidade do léxico matemático envolvido na Primeira Lei da Termodinâmica analisada. Essa, por conseguinte de acordo com o que deveria acontecer, visto que o estudante de ensino médio tem acesso apenas a uma introdução da linguagem científica e matemática contida no fenômeno, enquanto o estudante de nível superior já lida com diferentes estruturas de matemática e cálculos na composição do léxico.

O aprendizado da linguagem científica da física por meio da relação com a matemática no ensino básico, pressupõe-se que não deveria ser a apreensão pura e simples de um vocabulário, e muito menos de definições, mas de como palavras e outros símbolos se relacionam com o mundo de uma determinada maneira. Esse aprendizado se dá pelo uso da relação entre os elementos da MD e a natureza que está fundamentalmente apresentado nos exemplares.

Estes, por conseguinte, estão relacionados ao léxico, aos modelos e às generalizações simbólicas não interpretadas e interpretadas. Nessa perspectiva, se, para a formação do físico, essa relação é estabelecida essencialmente pela ostensão, no caso do ensino médio, para que esta prática não se transforme em resolução mecanizada e algorítmicas de exercícios com manipulações matemáticas pouco significativas, os resultados sugerem que a linguagem científica da física, neste nível de ensino, precisa ser trabalhada a partir de mais conexões entre os elementos da matriz disciplinar.

A relação que Kuhn descreve para o aprendizado da linguagem científica da física é o uso dos elementos da MD com relação ao mundo. Pressuponho que no momento em que o professor usa do livro didático para descrever um determinado fenômeno, nesse caso, a Primeira Lei da Termodinâmica e por conseguinte espera que seus alunos a entendam através de uma vasta resolução de exercícios, a ligação das características com a Matriz Disciplinar e o mundo real é perdida e o ensino maçante e de difícil compreensão.

Além disso, é importante trazer para a pauta do trabalho a relação entre o livro didático e seu papel formativo no ensino de física do nível básico. Suas implicações podem estar atreladas a como a linguagem matemática da física é inserida entre os estudantes e professores envolvidos nos processos educativos.

No que tange a relação da linguagem científica com a matemática, segundo as análises, é possível observar que os elementos da Matriz Disciplinar constroem parte significativa da matemática da física, ou seja, juntamente com o léxico e posse comum da interpretação formam as principais características da matemática na linguagem científica da física.

No caso da Primeira Lei da Termodinâmica esses elementos caracterizam o modo como ela é textualizada, ou seja, se apresenta na forma de um texto que mediará a relação do leitor (aprendiz, estudante) com a física e com o mundo na perspectiva da física.

Todos esses elementos conversam entre si demonstrando que a estrutura e textualização do conhecimento científico em questão, passa pela forma que a linguagem científica se apresenta ao estudante e o coloca em relação ao mundo real. Ou seja, a matemática é parte constituinte e indispensável da física e da construção da própria ciência, visto que ela também forma membros das comunidades científicas. No entanto, as interconexões que julgamos necessárias entre os elementos da matriz disciplinar e com o léxico, demandam o uso concomitante e talvez mais pronunciado do que tradicionalmente em salas de aulas, da linguagem verbal.

Nessa perspectiva, entende-se que a matemática da física textualizada no livro didático é um componente da linguagem da física, porém, através das análises, foi possível observar que a relação estrutural igual dos livros de ensino superior e ensino médio, pode ser um dos motivos dificultador da tríade estudante-linguagem científica-matemática.

Grande parte da dificuldade dos estudantes está na visão que eles têm da física (ATAÍDE, 2012) e também na profunda conexão que eles veem em confundir a física com a matemática pelo excesso de resolução de problemas de cunho lógico matemático (KARAM, 2012).

Como é de interesse deste artigo discutir a matemática da física na perspectiva kuhniana no livro didático e manual de física foi importante notar como ela tem sido utilizada. Os elementos da Matriz Disciplinar que dão base para a matemática não são tão bem explorados em suas relações como poderiam e deveriam, pelo fato do livro didático transferir

para o aluno a trajetória que um físico leva para se formar. Cabe ao docente em sala de aula compreender as relações e adequar a compreensão da linguagem científica de acordo com o nível de aprendizado desejado pelo ensino básico, o que implica num uso concomitante mais proeminente da linguagem verbal, concordando com a proposta de Almeida (1999).

Há um tempo entre a demonstração da teoria e a resolução do exemplar proposto em que não se tem dado tanta importância. Ao tornar o aprendizado da física em torno da resolução de problemas de cunho lógico matemático, deixa-se de observar o processo de conhecimento físico composto na interpretação dos dados, na reflexão sobre os fenômenos e na interação do estudante entre ciência e mundo (MANNRICH, 2014).

Outro ponto importante a ser mencionado, é o fato de os livros didáticos terem léxicos diferentes para a expressão matemática da Primeira Lei da Termodinâmica. A nível de graduação, isso é algo trivial para os estudantes, no entanto, a nível básico uma simples mudança de variáveis poderá interferir no entendimento do fenômeno.

Visto que o livro didático ainda é um material de suporte tanto para professores, no apoio pedagógico para preparação de aulas, fonte segura de resolução de problemas e observando que o ensino de física é basicamente estruturado de forma que os alunos resolvam exercícios continuamente. A simples mudança de um “W” para um “ τ ” pode interferir em como o estudante entende o fenômeno. Vale lembrar que a significação desses elementos se encontra no uso nos exemplares, mas em conexão com o léxico, e as generalizações simbólicas gerais e as interpretadas e os modelos.

Segundo o PNLD (2018), o livro didático é um material de apoio de cunho social, onde todos os envolvidos no processo de educação podem fazer uso, tanto alunos, como professores, familiares, setor pedagógicos e afins. Também é válido mencionar que a escola é a responsável pela solicitação dos livros didáticos junto ao MEC e não há apenas um livro. Existem diversas opções, com abordagens diferentes, como podemos observar na análise feita.

Pode acontecer de professores e alunos beberem de diferentes fontes de livros e isso causar certa confusão em uma disciplina onde o estudante já entre com o pensamento de ser algo de difícil compreensão.

Nessa perspectiva, os encaminhamentos pensados para pesquisas futuras, seriam o de vincular a linguagem matemática descrita por Kuhn a história da construção da Primeira Lei

da Termodinâmica, bem como aprofundar a pesquisa em torno da utilização dos livros didáticos em sala de aula como papel formativo do ensino de física.

Esses aprofundamentos ajudariam a complementar as relações pressupostas nesse trabalho entre livros didáticos, linguagem matemática na física, linguagem científica e a Primeira Lei da Termodinâmica.

É também necessário um maior aprofundamento e reflexões acerca das análises feitas até aqui. Buscar entender em como elas influenciam no processo pedagógico do ensino de física.

Em suma, foi possível encontrar os elementos da linguagem científica da física proposta por Kuhn nos livros didáticos e manuais. Sugere-se que essa relação da física com o ensino seja mais explicitamente trabalhada enquanto linguagem do mundo. De forma que se busquem alternativas para usar mais os elementos da linguagem científica de Kuhn, as relações entre esses elementos e sua relação com o mundo em sala de aula.

No âmbito do ensino básico estas conexões precisam e poderiam ser melhor trabalhadas.

4.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATAÍDE, A. R. P. de. **O papel da matemática na compreensão de conceitos e resolução de problemas de termodinâmica**. 180 f. Tese (Doutorado) -Universidade Federal da Bahia, Salvador. 2012.
- BRASIL, Guia **PNLD Literário 2018**. Ministério da Educação. Brasília. 2018.
- KARAM, R. A. S. **Estruturação matemática do pensamento físico no ensino: uma ferramenta teórica para analisar abordagens didáticas**. 292 f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- KUHN, T.S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo, Perspectiva, (1987) [1969]
- KUHN, T. S. **A Tensão Essencial**. São Paulo: Editora da Unesp, 408 p, (2011) [1977/1974]
- KUHN, Thomas S. **O caminho desde a estrutura**. Editora da Unesp, 2006.
- MANNRICH, J. P. **Linguagem matemática, Física e Ensino: como licenciandos discutem essa relação**. 258 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina,