

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS

FRANCISCO RODRIGO DAS CHAGAS PALMA

ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA POR MEIO DO CONTEÚDO MÁQUINAS
TÉRMICAS:
Uma perspectiva para a aprendizagem de Física

MANAUS

2019

FRANCISCO RODRIGO DAS CHAGAS PALMA

ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA POR MEIO DO CONTEÚDO MÁQUINAS
TÉRMICAS: UMA PERSPECTIVA PARA A APRENDIZAGEM DE FÍSICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós
Graduação em Ensino de Ciências e Matemática,
PPGECIM, da Universidade Federal do
Amazonas, como requisito para obtenção do grau
de Mestre.

IRLANE MAIA DE OLIVEIRA

MANAUS

2019

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

P171a Palma, Francisco Rodrigo das Chagas
Alfabetização científica por meio do conteúdo máquinas térmicas:
Uma perspectiva para o ensino de física / Francisco Rodrigo das
Chagas Palma. 2019
71 f.: 31 cm.

Orientadora: Irlane Maia de Oliveira
Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) -
Universidade Federal do Amazonas.

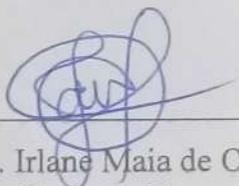
1. Alfabetização científica. 2. Aprendizagem de física. 3. Livro
didático. 4. Conteúdo máquinas térmicas. I. Oliveira, Irlane Maia de
II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

FRANCISCO RODRIGO DAS CHAGAS PALMA

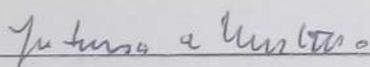
**ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA POR MEIO DO CONTEÚDO MÁQUINAS
TÉRMICAS: UMA PERSPECTIVA PARA A APRENDIZAGEM DE FÍSICA.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática/PPG-ECIM da Universidade Federal do Amazonas/UFAM, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática.

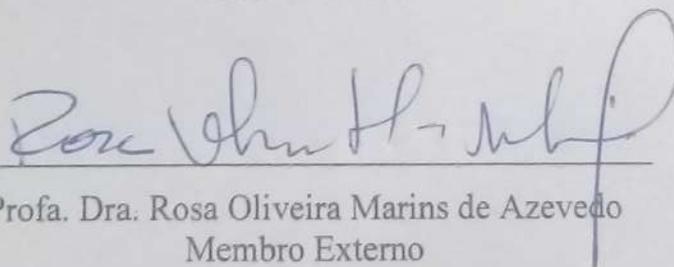
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dra. Irlane Maia de Oliveira
Presidente da Banca



Prof. Dr. José Francisco de Magalhães Netto
Membro Interno



Prof. Dra. Rosa Oliveira Marins de Azevedo
Membro Externo

FRANCISCO RODRIGO DAS CHAGAS PALMA

ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA POR MEIO DO CONTEÚDO MÁQUINAS
TÉRMICAS: UMA PERSPECTIVA PARA A APRENDIZAGEM DE FÍSICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós
Graduação em Ensino de Ciências e Matemática,
PPGECIM, da Universidade Federal do
Amazonas, como requisito para obtenção do grau
de Mestre.

Aprovado em 03 de Maio de 2019.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Irlane Maia de Oliveira, Presidente
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. José Francisco de Magalhães Netto, Membro Interno
Universidade Federal do Amazonas

Profa. Dra. Rosa Oliveira Marins de Azevedo, Membro Externo
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas

RESUMO

A pesquisa apresenta uma possibilidade, por meio de um recurso de vídeo intitulado *Ordem e Desordem: A História da Energia*, de mediar na aprendizagem de Física a alfabetização científica diante dos eixos estruturados por Sasseron e Carvalho (2011). O conteúdo selecionado foi *máquinas térmicas*, que está contido no livro didático do segundo ano do ensino médio. Durante o processo, foram analisados quatro livros didáticos de Física utilizados nas escolas públicas de Manaus, bem como trabalhos desenvolvidos a partir da mesma temática. Na análise a respeito da estrutura apresentada neste recurso, foi percebido que os aspectos históricos e sociais relacionados a este tema são suprimidos em função de análises algébricas abstratas de seu funcionamento a partir de uma percepção física dos fenômenos que o envolvem e que não atendem às perspectivas dos eixos acima citados. Haja vista o grande impacto social causado pelo surgimento e desenvolvimento das máquinas térmicas ao longo dos séculos, buscamos, a partir do recurso mencionado, construir uma proposta que prezasse por uma aproximação do estudante aos aspectos históricos e sociais da Ciência, e, a partir disso, possibilitar a alfabetização científica durante o processo. Utilizamos como referência a teoria sócio-histórica de Vygotsky na perspectiva de fundamentar o processo de mediação feita pelo professor em relação ao processo de aprendizagem. Utilizamos o método da análise do conteúdo a partir da transcrição do vídeo para posterior reflexão das possibilidades de abordagem visando à alfabetização científica. Como resultado, tivemos a identificação de dezoito possibilidades de se abordar, de forma fragmentada, aspectos que uma vez mediado pelo professor a partir de uma organização para este fim, venha a possibilitar o processo da alfabetização científica a partir do tema proposto.

Palavras-chave: Alfabetização Científica. Aprendizagem de Física. Livro Didático. Conteúdo máquinas térmicas.

ABSTRACT

The research presents the possibility using the resource of a video content named Order and Disorder: The history of energy, mediate in the learning process of the Physics to the Scientific Literacy in face of the structured axes by Sasseron e Carvalho (2011). The content selected was the Heat Engine which contents supports the second grade in the high school textbooks. During the process, we proceeded the analysis using four textbooks of Physics in the second year of Public School of Manaus, as well as the works, performed using the same topic. The analysis concerning the structure presented in this resource has been seen that the historical and social aspects related to this topic were suppressed according to the abstract algebraic analysis of its operation from the physical perception of the phenomena involved, and which does not comply with the perspectives of axes mentioned. As the use of Heat Engine impacted in its advent and the growth during centuries, we aimed to achieve from the mentioned resource build the proposal, which values approaching the student to the historical and social aspects of the science, and from this point enable the Scientific Literacy during the process. We applied as a reference to the social-historical theory of Vygotsky in the view of basing the teacher as a mediator in relation to the learning process. We applied the method of analysis using the content from video transcription to the later reflection of the approach possibilities aiming the Scientific Literacy. As a result, we identified eighteen possibilities to approach in fragmented way teacher can mediate for this purpose; it can also enable the Scientific Literacy process from the suggested topic.

Key Words: Scientific Literacy. Physics Learning. Textbooks. Heat Engines Content.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	8
1 ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA E O ENSINO DE FÍSICA.....	10
1.1 A Física e o conteúdo máquinas térmicas.....	14
1.2 História da Ciência e o ensino de Física.....	18
2 O CONTEÚDO MÁQUINAS TÉRMICAS NOS LIVROS DIDÁTICOS.....	21
2.1 A Abordagem sócio-histórica e o ensino de Física.....	26
2.2 A Física escolar e a Ciência Física.....	32
3 FUNDAMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA.....	36
3.1 Descrição do objeto para promover a aprendizagem de Física.....	43
4 TRANSCRIÇÃO E ANÁLISE DO OBJETO - <i>ORDEM E DESORDEM: A HISTÓRIA DA ENERGIA</i>	45
CONCLUSÃO.....	66
REFERÊNCIAS.....	68

INTRODUÇÃO

Há diversas maneiras de os professores de Física do ensino médio promoverem a aprendizagem em sala de aula, mas, para isso, é necessário um planejamento, em que os recursos a serem utilizados tornem-se ferramentas de grande impacto, principalmente quando essa aprendizagem tiver como objetivo promover a abordagem da alfabetização científica. Dessa forma, ao reconhecer o livro didático como o recurso mais utilizado pelos professores, esta pesquisa se fundamenta empiricamente na experiência de um professor de Física, e estabelece como problema de pesquisa a seguinte pergunta: É possível promover alfabetização científica no ensino de Física por meio de um recurso de vídeo, a partir do conteúdo máquinas térmicas?

Para responder à problemática, traçamos como objetivo geral analisar o conteúdo de um vídeo, a partir dos eixos estruturantes da alfabetização científica descritos por Sasseron e Carvalho (2011). Portanto, foi necessário delimitar essa análise em dois objetivos específicos, quais sejam: i) identificar o contexto histórico do conteúdo máquinas térmicas nos livros didáticos de Física; e ii) descrever a transcrição do vídeo como um processo metodológico para promover a alfabetização científica.

O estudo deste problema emergiu a partir da observação das dificuldades de aprendizagem dos estudantes do segundo ano do ensino médio, pois, ao recorrer ao livro didático, observou-se que a unidade estudada se apresentou de forma descontextualizada da realidade histórica e social. Os conteúdos geralmente estão apresentados de maneira técnica como uma simples aplicação de conceitos físicos, sem contextualizar sua importância para o desenvolvimento científico e tecnológico ao longo dos séculos. Por esse motivo, acaba não colaborando para uma percepção crítica da realidade, sendo, portanto, simples aplicações de fórmulas matemáticas em exercícios algébricos.

Diante do problema, propõe-se, a partir do vídeo: *Ordem e desordem: A História da Energia*, uma análise que visa possibilitar a alfabetização científica, cujas possibilidades de mediar o recurso a partir de temas identificados dentro dos eixos estruturantes descritos pelas autoras foram descritas. Como resultado, com base na análise do recurso, foram identificados dezoito pontos que podem ser trabalhados de forma direta a partir dos eixos estruturantes e que, ao serem mediados em uma

perspectiva dialógica, podem contribuir para um ensino mais participativo e crítico, podendo, portanto, promover a alfabetização científica a partir disso.

O trabalho se organiza a partir de quatro capítulos, sendo o primeiro direcionado à alfabetização científica e o ensino de Física, o segundo relacionado ao conteúdo máquinas térmicas nos livros didáticos, após isso, apresentamos os fundamentos metodológicos da pesquisa como terceiro capítulo e por fim, a transcrição do objeto para a aprendizagem de Física.

1. ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA E O ENSINO DE FÍSICA

A Alfabetização Científica vem se tornando tema de relevância crescente no campo da pesquisa no ensino de Ciências devido à necessidade de preparar estudantes para uma atuação na sociedade, na qual convivem direta e indiretamente cercados por sistemas relacionados às estruturas científicas e tecnológicas. Muitos são os autores e as definições que contemplam em suas pesquisas descrições sobre este aspecto. Portanto, faz-se necessária uma pequena análise a respeito das percepções existentes na descrição da alfabetização científica nos trabalhos relacionados ao ensino de Ciências a fim de direcionarmos e delimitarmos a abordagem da pesquisa nesse aspecto.

Sasseron e Carvalho (2011) discutem amplamente em sua pesquisa que, por ser um conceito complexo, a ideia de Alfabetização Científica é vista por alguns estudiosos como possuindo vieses distintos e necessários de serem observados para que seja compreendida e vislumbrada em diversas situações.

As autoras usam o termo “alfabetização científica” para designar as ideias que norteiam um planejamento de um ensino que permita aos estudantes interagir com uma nova cultura, com uma nova forma de ver o mundo e seus acontecimentos, podendo modificá-lo e a si próprio através da prática consciente propiciada por sua interação cerceada de saberes, de noções e conhecimentos científicos, bem como das habilidades associadas ao fazer científico. (SASSERON, 2008. p. 12).

Rosa e Martins (2007) também comentam sobre a amplitude do tema, dialogam que a alfabetização científica pode apresentar visões distintas, sendo uma mais limitada ao processo de aprendizagem dos conteúdos, enfatizando a linguagem científica, como na capacidade de reconhecer fórmulas e de dar definições conceituais corretas, e uma definição mais abrangente, a qual inclui o entendimento dos conceitos e algum grau de compreensão sobre a natureza da Ciência e suas dimensões sociais e históricas.

A necessidade de discussão sobre o termo encontra justificativa na necessidade básica e primária de autoavaliação da prática docente e nos planejamentos e escolhas das ações didáticas, ou seja, se buscamos por meio de nossa prática promover a alfabetização científica, é necessário que entendamos os caminhos a serem tomados e que reflitamos a respeito, não é possível promover algo que não tem definição ou mesmo um direcionamento de uma.

Apesar das diferentes formas de definição, há algumas convergências de opiniões dentre os pesquisadores que se propuseram a analisar tal questão, entre estes estão “o conhecimento conceitual, desenvolvimento de habilidades para a comunicação em Ciências e a necessidade de uma compreensão sobre a natureza da Ciência.” (ROSA; MARTINS, 2007. p. 1).

Mesmo para aqueles que buscam um ensino de Ciências eficaz, sem uma perspectiva de alfabetização científica, acabam por adentrarem as características acima citadas, visto a intencionalidade da prática. De maneira mais detalhada trazemos a percepção de Matthews (1994) sobre o processo, que descreve as características básicas necessárias para um ensino de Ciência efetivo, as quais, segundo o autor, são: (a) introdução a conceitos, leis e processos das Ciências físicas e biológicas, que se encaixam dentro das temáticas de conhecimento conceitual; (b) métodos da racionalidade e da investigação científica, que se manifestam por meio da linguagem científica, descrita como comunicação em Ciências; (c) aplicações do conhecimento científico no cotidiano e implicações sociais/ambientais do desenvolvimento tecnológico, fato que é fundamentado pela necessidade de compreensão da natureza da Ciência para gerar análise de certas situações descritas dentro deste eixo.

Há outras discussões sobre a natureza da Ciência e seu papel na alfabetização científica. Acevedo *et al.* (2005) afirmam que é importante ensinar algo de natureza da Ciência nas aulas, sendo essa uma das diferentes formas de melhorar a educação para a cidadania. Mas, para isso ocorrer efetivamente, é necessário modificar a imagem da Natureza da Ciência que os professores têm e transmitem; ela, segundo o autor, ainda está ligada a uma apresentação de conhecimentos já elaborados, reduzidos ao que é socialmente aceito como Ciência com forte associação ao método científico e desvinculado de qualquer caráter socioconstrutivo.

Outros levantamentos e comparações foram feitas. Trazendo novas listas de referência, porém contendo os conceitos/eixos acima mencionados, Kemp (2002) classificou o conceito de alfabetização científica em três eixos: conceitual, procedimental e afetiva. O primeiro deles envolve a compreensão e os conhecimentos específicos, ou seja, conceitos científicos e relações entre Ciência e sociedade. O segundo envolve procedimentos, habilidades e capacidades, como a aplicação da Ciência na vida cotidiana, utilização da Ciência para fins sociais, e

divulgação científica em linguagem acessível a um público geral. Por fim, o último eixo envolve a afetividade, os valores e as emoções relacionadas à disposição da interação com a Ciência, tais como apresentar interesse pelo conhecimento científico.

Para Chassot (2014, p. 61), o conceito da alfabetização científica é um conjunto de conhecimentos que facilitam aos homens e mulheres fazer leitura do mundo onde vivem. O “mundo” adquire, nas palavras do autor, caráter geral e singular em sua definição, pois o conhecimento científico adquirido no processo de alfabetização científica deve permitir o entendimento e intervenção na realidade não apenas no mundo global, mas também no mundo local, sendo importante que esse fazer Ciência forneça possibilidades para uma leitura crítica da realidade na qual o estudante se insere.

O autor entende a formação do estudante como um processo que proporciona possibilidades de desenvolvimento de uma visão crítica, expõe pensamentos nos quais o processo educativo se dá por meio da prática desta criticidade adquirida e proporcionada pelo ensino, seja das Ciências, seja da palavra, ressaltando que a responsabilidade da prática docente e do fazer educação “é procurar que nossos estudantes e alunas se transformem, com o ensino que fazemos em homens e mulheres mais críticos e que estes possam tornar-se agentes de transformação – para melhor – do mundo em que vivemos.” (CHASSOT, 2014, p. 55).

Diante do exposto e analisando a amplitude do termo discutido, para fins de delimitação do tema e para a discussão desta pesquisa, nos apropriaremos do conceito de alfabetização científica abordado por Sasseron e Carvalho (2011), que em sua pesquisa apresentam concordâncias de diversos autores a respeito das características das habilidades classificadas como necessárias de serem encontradas no processo da alfabetização científica, assim como entre os alfabetizados cientificamente.

Sasseron e Carvalho (2011) descrevem essas características em três grupos, aos quais denominam Eixos Estruturantes da Alfabetização Científica e que apresentam um conjunto de contextos que devem ser considerados em elaborações de propostas visando a Alfabetização Científica. São eles:

O primeiro eixo refere-se à **compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais** e está relacionado a possibilidade de trabalhar com os estudantes a construção de

conhecimentos científicos necessários para que seja possível a eles aplicá-los em situações diversas e de modo apropriado em seu dia-a-dia. Sua importância reside ainda na necessidade exigida em nossa sociedade de se compreender conceitos-chave como forma de poder entender até mesmo pequenas informações e situações do dia-a-dia. O segundo eixo preocupa-se com **a compreensão da natureza das Ciências e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática**. Reporta-se, pois, à ideia de Ciência como um corpo de conhecimentos em constantes transformações por meio de processo de aquisição e análise de dados, síntese e decodificação de resultados que originam os saberes. Com vista para a sala de aula, nos anos iniciais do Ensino Fundamental, esse eixo fornece-nos subsídios para que o caráter humano e social inerentes às investigações científicas sejam colocados em pauta. Além disso, deve trazer contribuições para o comportamento assumido por estudantes e professor sempre que defrontados com informações e conjunto de novas circunstâncias que exigem reflexões e análises considerando-se o contexto antes de tomar uma decisão. O terceiro eixo estruturante da Alfabetização científica compreende **o entendimento das relações existentes entre Ciência, tecnologia, sociedade e meio-ambiente**. Trata-se da identificação do entrelaçamento entre estas esferas e, portanto, da consideração de que a solução imediata para um problema em uma destas áreas pode representar, mais tarde, o aparecimento de um outro problema associado. Assim, este eixo denota a necessidade de se compreender as aplicações dos saberes construídos pelas Ciências considerando as ações que podem ser desencadeadas pela utilização dos mesmos. O trabalho com este eixo deve ser garantido na escola quando se tem em mente o desejo de um futuro sustentável para a sociedade e o planeta. (SASSERON; CARVALHO, 2011, p. 75).

Portanto, a partir da pesquisa desenvolvida pelas autoras, temos uma referência sólida a respeito das características necessárias para a análise de uma prática ou recurso didático que tenha por objetivo buscar promover a alfabetização científica. Usaremos os eixos como base para a análise da proposta e aplicação da pesquisa, buscando dentro das possibilidades, mostrar sua efetividade por meio da comparação e análise dos eixos estruturantes acima citados.

A busca pela alfabetização científica a partir do ensino de Física se fundamenta principalmente em nossa vivência no contexto escolar atual. Percebemos uma Física a ser ensinada em sala de aula que não tem ligações com a realidade social, principalmente em termos de referências históricas. A sua estrutura é direcionada ao caráter algébrico e mecânico da aplicação física, teorias, conceitos e equações descrevem realidades lineares e sem construção histórica.

Buscamos por meio desta abordagem, pautada na busca pela alfabetização científica, uma alternativa de humanização da Física enquanto conhecimento escolar, para que esta integre de forma significativa um conjunto de conhecimentos que sirvam para a descrição e interpretação da realidade de forma crítica e analítica. Compreendemos sua estrutura construída e difundida em torno de um imaginário de

que este conhecimento é complexo e de pouca utilidade, porém acreditamos que a Física tem potencial para servir de ferramenta de compreensão da realidade para além da quantificação e descrição de fenômenos. Por meio desta abordagem, acreditamos expor o caráter desta Ciência em uma perspectiva humanizada e construída.

1.1 A Física e o Conteúdo Máquinas Térmicas

No ensino de Física, alguns modelos de práticas distanciam o estudante da compreensão da realidade a partir dos conteúdos ministrados, apesar de a Física ser a Ciência que tem como objeto de estudo os fenômenos da natureza, sua prática não vem fornecendo subsídios para que seja utilizada para compreensão desta realidade.

A abordagem dos conteúdos da Física, muitas vezes é trabalhada de forma descontextualizada, pautadas em técnicas e métodos que levam o estudante a discutir aspectos teóricos sem referências de aplicações e sem ter a dimensão do significado deste estudo para o seu cotidiano tecnológico e social, seja o atual, passado ou futuro. Sobre a necessidade de mudança nessa abordagem, Chassot (2014, p. 103) comenta que;

Há necessidade de tornar o nosso ensino mais sujo, isto é, encharcá-lo na realidade, há usualmente, uma preocupação de se fazer um ensino limpo. A matematização parece ser um indicador de quanto o que ensinamos é para mentes privilegiadas e, portanto, desvinculado da realidade do mundo que se pretende explicar.

A crítica feita pelo autor diz respeito à utilização da linguagem matemática de forma exagerada no ensino da Física no ensino médio, muitas vezes sendo este fato apontado como um dos fatores pelo desinteresse dos estudantes em relação a esta Ciência. A matemática é, de fato, a linguagem que descreve a Ciência Física, porém estudos mostram (PIETROCOLA, 2007) que uma abordagem que enfatizar esta característica em detrimento de outras distancia o estudante do objetivo da aprendizagem, não por estes não serem capazes de compreender tal análise, mas devido ao distanciamento de um sistema de referência seja físico, seja histórico.

Pietrocola (2007, p. 91) comenta a importância da matemática no ensino de Física como ferramenta fundamental para seu desenvolvimento, mas descreve

características que devem ser levadas em consideração quando se trata de sua aplicação em outras Ciências:

A matemática é parte essencial dos saberes necessários para a aprendizagem da Física. Podemos destacar duas formas pelas quais o ensino da matemática na Física permite a aprendizagem de conteúdos físicos. A primeira se fundamenta no domínio técnico dos sistemas matemáticos, como a operação com algoritmos, a construção de gráficos, a solução de equações e etc. esse domínio está ligado ao contexto interno dos saberes matemáticos, e designaremos habilidade técnica, no sentido de ser capaz de lidar com regras e propriedades específicas dos sistemas matemáticos. A segunda se fundamenta na capacidade de utilizar os saberes matemáticos para a estruturação de situações físicas. Essa capacidade está ligada ao uso organizacional da matemática em domínios externos a ela e a designaremos habilidade estruturante. Existe um mito sobre a relação entre o ensino de Física e o ensino de matemática que pode ser derrubado quando se tem clareza de sobre a diferença entre essas duas habilidades – enquanto a primeira pode ser obtida fora do ensino de Física, ou seja, em disciplinas de conteúdo exclusivamente matemático, a segunda não pode. A capacidade de lidar com a matemática em situações que lhe são próprias não garante a capacidade de utilizá-la em outros setores do conhecimento, como na Física. Em outras palavras, dominar tecnicamente a matemática não garante a capacidade de utilizá-la para estruturar o pensamento no domínio do mundo físico.

Utilizar o ensino de Física a partir de uma abordagem em que as equações se tornam foco principal de seu estudo, não tendo a mesma atenção para os conceitos envolvidos, torna o conhecimento físico desconexo, transformando o estudante em um mero receptor de informações.

Quanto à matematização dos conceitos físicos especificamente, ela deve ser utilizada no momento em que concepções conceituais iniciais estejam formuladas, pois, se não ocorrer dessa forma, a ênfase da prática fica direcionada apenas para a memorização de fórmulas. Por consequência, a Física é transmitida em forma de conhecimento pronto, em que não há questionamento em relação à suas leis e teorias, onde sua função é apenas a de tornar conhecimento aos discentes suas “verdades”, caracterizadas em informações abstratas transmitidas de forma mecânica.

Capecchi e Carvalho (2006) comentam que um ensino que tenha por objetivo preparar os estudantes para uma participação ativa na sociedade deve proporcionar aos estudantes novas visões de mundo, considerando o entrelaçamento entre estas e conhecimentos anteriores. No caso da aprendizagem em Física, isto significa, sobretudo, a aquisição pelos estudantes de novas práticas e linguagens, sem deixar de relacioná-las com as linguagens e práticas do cotidiano. A aprendizagem com

este aspecto traz um novo olhar sobre conteúdos e atividades trabalhados nas aulas de Física, abrangendo aspectos diversos da construção dos conhecimentos científicos, desde seu caráter de produção humana até a importância dos símbolos na construção dos conceitos científicos.

Alguns conteúdos trazem em seu aspecto construtivo potencialidades de abordagens que possibilitam reflexão de maneira crítica em situações de contextualização. Partindo desta problemática e analisando a aplicabilidade dos conteúdos, propomo-nos expor as características do conteúdo máquinas térmicas, abordadas no segundo ano do ensino médio, como instrumento de análise e aplicação da pesquisa.

O conteúdo máquinas térmicas se configura dentro de um processo no qual é objeto final de um estudo de uma sequência de conteúdos como calor, temperatura, transformações gasosas, leis da termodinâmica e, por fim, o estudo das máquinas térmicas, que é um sistema que demonstra a aplicação prática de cunho tecnológico que envolve todos os conceitos mencionados anteriormente em um único sistema. Apesar das necessidades de muitos conceitos técnicos ligados à Física, tratar esse conteúdo apenas a partir dessa perspectiva exclui aspectos importantes significativos de sua abordagem.

O surgimento da máquina térmica marca como um signo um momento de grande importância na história do desenvolvimento científico e tecnológico, assim como o da Ciência de forma geral. A possibilidade de superação, em alguns aspectos, do trabalho humano e animal por um sistema de máquinas, demonstrava o avanço em termos de aplicabilidade do conhecimento das Ciências naturais em sistemas que, à primeira vista, viriam beneficiar o homem em seu processo de trabalho e em seu desenvolvimento intelectual.

O estudo do calor, objeto de grandes pesquisas entre químicos e físicos da época, trazem contribuições que levam o estudo dessas Ciências para outros patamares: com a compreensão dos processos termodinâmicos, mais uma pequena parcela da natureza é compreendida e, por consequência, abre espaço para novas discussões e conhecimentos que viriam a partir deste.

Por volta de 1760, na Inglaterra, o capitalismo começava a completar a formação. É a chamada Revolução Industrial, envolvendo, dentre outras, grandes transformações sociais e tecnológicas. Assistiu-se a uma disseminação do uso de máquinas, à substituição da energia humana e animal pela força motriz, à falência

do sistema doméstico de produção diante do surgimento do sistema fabril (FRANCO JUNIOR; ANDRADE FILHO, 1993).

O advento do maquinismo, encarecendo os meios de produção (ferramentas, máquinas, instalações, etc), consolidou a tendência à concentração nas mãos de uma pequena parcela da sociedade. Os que se viram desprovidos dos meios de produção, por sua vez, foram forçados a vender sua capacidade de trabalho em troca de um salário. É definida então a separação entre capital e trabalho, entre burguesia e proletariado.

Propagando-se em épocas e ritmos diferentes, a revolução industrial também não correspondeu a um processo único. É possível distinguir dois momentos: o primeiro entre 1760 e 1850-70, em que prevaleceram o ferro e o carvão como fonte de energia; o segundo entre 1850-70 e 1914, em que prevaleceram o aço e a eletricidade. O primeiro caracteriza-se pelas invenções enquanto o segundo, pelos avanços técnico-científicos aplicados a indústria. Apesar de corresponderem a processos intimamente ligados, as diferenças entre esses dois momentos levaram alguns autores a mencionarem uma segunda revolução industrial (FRANCO JUNIOR; ANDRADE FILHO, 1993).

As inovações técnico-científicas da segunda etapa erradicaram os resquícios da antiga ordem socioeconômica. As enormes somas necessárias para a implementação da nova maquinaria viabilizaram a concentração do capital, além de possibilitar a expansão das indústrias para áreas do mundo subdesenvolvidas. Romperam-se as fronteiras nacionais; a sociedade urbana e industrial foi impulsionada. O capital foi se tornando ainda mais concentrado. Os negócios e as mercadorias começaram a derrotar as distâncias e os oceanos.

Le Blanc (*apud* HOBBSAWM, 2013, p. 13) analisa que a máquina a vapor substituía o trabalho de inúmeros homens nas minas de carvão de Newcastle, onde uma só pessoa podia, empregando uma máquina surpreendente simples, alçar quinhentas toneladas de água à altura de cento e oitenta pés. Com a necessidade de uma nova organização para que estes homens substituídos pelo maquinário se inserissem novamente em um meio de produção do qual necessitasse de sua força de trabalho, visto que o trabalho no campo estava cada vez mais distante desta realidade.

A Revolução Industrial foi uma grande transformação social refletindo diretamente na estrutura de vida dos operários e daqueles que fizeram parte de sua

época. Em seus primeiros anos trouxe uma nova forma de sociedade que poderia ser distinguida entre trabalhadores e industriais. Nesse início, algumas industrializações ainda confundiam estruturas antigas de sociedade, como, por exemplo, a dos produtores de ferro que mais lembrava as relações de lealdade entre fidalgos e lavradores, fato que foi mudando ao longo do tempo e ganhando características próprias da estrutura social capitalista (HOBSEBAWM, 2013).

O autor ainda enfatiza um aspecto importante de ser considerado na análise desta transformação, a relação de tempo existente antes e após a industrialização. A indústria traz consigo a tirania do relógio, a máquina que regula o tempo, e a complexa e cuidadosamente prevista interação dos processos: a mensuração da vida não mais em estações, semanas e dias, mas em minutos, e, acima de tudo, uma regularidade mecanizada de trabalho que vai em caminho oposto não só com a tradição, mas também com todas as inclinações de uma população ainda não condicionada para ela.

Diante de tantos aspectos sociais e científicos envolvendo o surgimento das máquinas térmicas, vemos neste tema grande potencial para promover alfabetização científica, pois marca um momento histórico de grande significado, possibilita discussões de cunho histórico e social, relaciona as configurações de trabalho e meios de produção, assim como aspectos científicos associados ao que entendemos hoje como “avanços tecnológicos” e as transformações sociais. Segundo Sabka, Lima Júnior e Pereira (2016), o contexto sócio-histórico no qual se desenvolve as máquinas térmicas nos traz uma maior compreensão das relações sociais às quais existem até os dias atuais em nossa sociedade, e ressalta que além de abordagem que privilegiem o contexto tecnológico em que as máquinas surgem, é possível ainda abordar aspectos relacionados ao desenvolvimento de nossa sociedade moderna, como reflexões sobre diferenças de classe. A partir desta discussão, vemos no estudo da História da Ciência, assim como no estudo de sua natureza, a ferramenta principal para desenvolver o processo de alfabetização científica a partir do tema proposto.

1.2 A História da Ciência e o ensino de física

A História da Ciência é ferramenta de grande potencial para o ensino das Ciências de maneira geral, por meio de suas contribuições é possível estabelecer

relações temporais históricas e sociais significativas para a sua aprendizagem, permitindo compreender a Ciência como processo de construção humana, assim como desconstruir conceitos falsamente atribuídos a ela.

De uma maneira geral, os argumentos para a utilização da História e Filosofia da Ciência são, entre outros, que: humaniza o conteúdo ensinado; favorece uma melhor compreensão dos conceitos científicos, pois os contextualiza e discute seus aspectos obscuros; ressalta o valor cultural da Ciência; enfatiza o caráter mutável do conhecimento científico; e, permite uma melhor compreensão do método científico (MATTHEWS, 1995 *apud* HÖTTECKE; SILVA, 2011).

A localização histórica nos permite compreender o momento atual em que vivemos e analisá-lo criticamente, este exercício é de grande importância para a formação de cidadãos críticos e atuantes. Os PCN+ (BRASIL, 2002) afirmam que, para se chegar a esta criticidade por meio do estudo da Física, é essencial que o conhecimento seja explicitado como um processo histórico, objeto de contínua transformação e associado às outras formas de expressão e produção humanas.

Desconstruir a Ciência como verdade absoluta é uma das mais significativas contribuições possibilitadas pelo estudo da História da Ciência, pois o discurso da Ciência como única verdade aceitável e confiável ainda se faz muito presente nas práticas educativas.

Martins (2000) defende que o estudo do contexto social em que a Ciência se desenvolveu é muito importante para desmistificar alguns mitos acerca dos cientistas e de seu trabalho. Outros autores (ACEVEDO et. al., 2005; PRAIA; GIL PEREZ; VILCHES, 2007) discutem sobre a utilização da História da Ciência no ensino das Ciências, afirmando que, além do fator mencionado acima, ela atua de maneira significativa para a formação cidadã, e mencionam que o contato dos estudantes com a natureza das Ciências está diretamente ligada a uma formação cidadã crítica e que permite tomadas de decisões técnico-científicas.

Discussões sobre a origem das Ciências e seus aspectos permitem a compreensão dos sistemas que as envolvem nos dias atuais, localizando o estudante em um sistema no qual esta tenha significado em sua vida por meio de suas aplicações. A esse respeito, Carvalho (2010) comenta que a escola precisa ensinar aos estudantes os fenômenos da natureza que os rodeiam, levando em consideração o que eles conhecem a respeito dos temas abordados, possibilitando-lhes a oportunidade de examiná-los na busca por explicações.

Proporcionar meios para a percepção das aplicações e utilidade da Ciência no cotidiano do estudante para assim dar significado a existência desta em sua realidade é objetivo de muitas pesquisas. Essa percepção se encontra nos conceitos trazidos pelos estudantes de suas vivências sociais diárias, nas quais o estudante por acúmulo cultural e difusão de informação entende que as tecnologias presentes no dia a dia envolvem Ciência, mas não consegue visualizar esta Ciência como sendo a que se aprende na escola, logo, não conseguindo fazer uso social do conhecimento que lhe é apresentado. Sobre o uso social do conhecimento adquirido, os PCN+ (BRASIL, 2002) comentam.

O desenvolvimento do pensamento crítico e criativo está entre os principais objetivos para uma educação científica de qualidade. O processo de ensino aprendizagem deve preparar o estudante para lidar com as constantes inovações das Ciências e tecnologias, além de levá-lo a compreender a articulação entre os conteúdos científicos e seus usos sociais. Mais do que a preparação acadêmica do estudante centralizada apenas em conteúdos especializados das Ciências, busca-se a compreensão contextualizada desses saberes, inscritos na complexidade da vida humana.

Articular conteúdos científicos e seus usos sociais é necessário para compreender que a Ciência é construída pela sociedade, que a esta não é algo externo que trabalha em função das melhorias. É necessária a discussão sobre a natureza da Ciência, sobre sua construção feita por e para homens e mulheres, bem como sobre as necessidades que a envolvem, e que envolvem a elaboração dos conhecimentos estudados em sala de aula.

Allchin (1999 *apud* ABD-EL-KHALIC; LEDERMAN, 2000, p. 06) comenta que a inclusão da história e filosofia da Ciência na educação científica vem sendo recomendada como um bom recurso para uma formação de qualidade, especialmente visando o ensino/aprendizagem de aspectos epistemológicos da construção da Ciência. Argumenta-se a importância de se aprender sobre o que caracteriza a Ciência como um empreendimento humano, e defende-se a História da Ciência como uma estratégia pedagógica adequada para discutir certas características da natureza da Ciência.

Portanto, a utilização da História da Ciência, assim como o estudo de sua natureza são de grande utilidade no ensino de Física, pois proporcionam desenvolvimento do senso crítico dos estudantes, permitindo o entendimento de sua construção dentro de um contexto real, autoafirmando que esta não se desenvolve

fora de um contexto social, mas a partir de necessidades específicas e influenciadas por um momento histórico e uma estrutura cultural predominante. Contribui, assim, para uma alfabetização científica e tecnológica por meio do estudo da Física e suas aplicações enquanto Ciência da natureza, fato que converge com a percepção de alfabetização científica adotada para o desenvolvimento da pesquisa, demonstrando assim a relevância de tais características para o desenvolvimento da pesquisa.

2. O CONTEÚDO MÁQUINAS TÉRMICAS NOS LIVROS DIDÁTICOS

Iniciamos a discussão sobre os livros didáticos de Física com uma análise a partir de uma abordagem histórica do conteúdo. A pesquisa utilizou como tema central o conteúdo máquinas térmicas, e foi a partir dele que ocorreram as discussões e análises ao longo do processo de construção da pesquisa, a ênfase relacionada à história da Ciência estará intimamente ligada com o tema da pesquisa, pois buscaremos por meio deste recurso alcançar o objetivo de promover alfabetização científica por meio do tema escolhido, assim como estabelecer relações a respeito de sua importância e efetividade dentro do processo.

A abordagem histórica dos conteúdos da Física se faz importante por considerarmos ser necessário levar para a sala de aula a Ciência que através do tempo foi construída por homens e mulheres que se dedicaram em suas trajetórias de vida a estudá-la para transformar a natureza e situar o homem em seu tempo.

A historicidade dos conteúdos permitirá conhecer o passado e identificar os elementos constituidores do contexto sociocultural na qual os conteúdos foram e são produzidos, e diante disso é possível criar possibilidades para desenvolver uma aprendizagem pautada no que já vem preconizado nos Parâmetros Curriculares do Ensino Médio. “A importância da História das Ciências e da Matemática tem uma relevância para o aprendizado que transcende a relação social, pois ilustra também o desenvolvimento e a evolução dos conceitos a serem aprendidos”. (BRASIL, 2002).

Portanto, é válido ressaltar as abordagens da História da Ciência no ensino de Física descritas por Silva e Teixeira (2009), ao apontarem aspectos relevantes como: a História da Ciência organiza e dá sentido às informações, tornando-as relevantes dentro da história das civilizações; desconstrói a visão da Ciência como

algo acabado; permite ao estudante perceber que os cientistas são seres passíveis de erro e dúvidas.

Sobre os conteúdos da Física, entendemos que seus aspectos históricos e sociais não são levados em consideração no momento da exposição do conteúdo. Tal afirmação pode ser observada quando analisado um dos principais, senão o principal recurso utilizado em sala de aula, o livro didático. Este recurso tem recebido diversas críticas e uma delas situa-se a partir da observação reflexiva diante da superficialidade dos breves comentários sobre os cientistas físicos e os contextos culturais em que viviam. Assim, esses contextos não são considerados, tampouco a curiosidade dos estudantes é estimulada nessa perspectiva.

Dessa forma, o conteúdo estudado sem seus elementos culturais torna-se vazio, pois são eles os responsáveis pelo sentido de todo o processo evolutivo da Ciência, sem isso a aprendizagem tenderá ser descontextualizada. Ainda sobre o livro didático, Schenberg (1978) comenta ser ele, ainda, o único meio de divulgação da produção científica, utilizado pelo professor em sala de aula.

Com o objetivo de ratificar tal crítica, descrevemos as abordagens utilizadas em quatro livros didáticos utilizados em escolas do ensino médio de Manaus nos últimos três anos. A escolha foi feita a partir do contato do pesquisador com tais livros em sua prática docente ao longo de sua experiência.

O primeiro livro analisado é de autoria de Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga do livro didático de *Física - Ensino Médio, Volume 2*, Editora Scipione, 2007. Na página 126, o conteúdo máquinas térmicas está estruturado da seguinte forma: “um tópico especial para você aprender um pouco mais”. 12.7. Máquinas térmicas – a segunda lei da termodinâmica”. O tema é abordado a partir de: O que é uma máquina térmica; A máquina de Watt; O Motor de Explosão; Rendimento de uma Máquina Térmica e a 2ª Lei da Termodinâmica.

A estrutura apresentada nos leva a uma visão linear da evolução das máquinas, que foram produzidas de forma regular e de maneira a ocorrer melhoramentos em suas estruturas de forma que não percebamos erros ou contradições. A máquina térmica é descrita como um avanço tecnológico, mas em nenhum momento é discutido o aspecto cultural, social e histórico de onde ela surgira e de seus impactos, não apenas em termos de tecnologia, mas como um conjunto de mudanças que ocorrem, não pelo aparecimento da máquina, mas da mudança social que ocorria em determinado momento histórico.

Percebemos uma visão linear e característica de uma Ciência que sempre avança, sem erros, ordenada e em benefício da melhoria social. A Física que envolve a descrição deste sistema é apresentada em forma de quantificação de grandezas relacionadas à termodinâmica, como calor, energia interna e trabalho, ciclos termodinâmicos, rendimentos e outros elementos singulares e técnicos que pouco contribuem para uma formação de visão de mundo mais ampla e contextualizada. Não vemos com isso a inutilidade de livros didáticos ou apresentamos qualquer posicionamento radical a este respeito devido à análise feita, entendemos apenas que a abordagem apresentada pelo livro analisado traz aspectos técnicos de forma a suprimir ou mesmo ignorar as consequências deste momento histórico.

Analisando o livro *Compreendendo a Física*, de Alberto Gaspar, volume 2 de 2011, editora Ática, na página 381, o conteúdo máquinas térmicas surge em uma página com o tópico “Feira de Ciências”, ao final do capítulo destinado ao estudo da segunda lei da termodinâmica. Nele se propõe a construção de um sistema simples de transformação de calor em movimento utilizando materiais de baixo custo, como latas de refrigerante, velas e cola; o procedimento é descrito sem qualquer menção ao que seria a tal máquina. Ressaltamos que, no capítulo destinado ao estudo da segunda lei da termodinâmica, nada é mencionado sobre o tema; portanto, percebemos uma falta de contexto diante da informação da construção do experimento.

Após a descrição do experimento, seguem-se três páginas destinadas a exercícios de fixação e questões de vestibulares e, na página 385, surge um tópico chamado “Conhecendo um Pouco Mais” com o título “História da Máquina Térmica”, no qual se descreve, a partir da máquina de Heron de Alexandria, um processo linear de evolução do mecanismo, dando atenção para as datas e as informações dos cientistas envolvidos na construção dos modelos de máquina, como Savery, Newcomen e Whatt, e para os desenhos de suas respectivas invenções. Não há, no entanto, relação alguma com nenhum contexto social, apenas se descrevem em função da técnica envolvida melhoramentos e análises matemáticas.

Após uma breve descrição deste processo há uma tentativa de mostrar o funcionamento da máquina a partir das equações da termodinâmica descrita no capítulo, a análise volta a ser matemática e “a história da máquina térmica”, como descrito no título da apresentação, perde o seu sentido. Após isso, em nenhum

momento é mencionado nada a respeito da história ou da evolução do conceito, assim como não se comenta a sua aplicação nos dias atuais. A análise do funcionamento é feita por meio de gráficos de pressão *versus* volume e o tema se encerra com uma breve discussão sobre solidificação e vaporização da água, que se distancia cada vez mais do proposto no título.

No livro *Os Fundamentos da Física 2*, de Ramalho, Nicolau e Toledo, editora Moderna, 8ª edição, de 2012, a parte que se destina a abordar as máquinas térmicas é ainda menor do que os analisados nos livros anteriores, a informação aparece como um tópico denominado: Conversão de Calor em Trabalho: Máquina Térmica, na página 161, este tópico faz parte do capítulo destinado a estudar as leis da termodinâmica. O livro traz uma abordagem de forma equacional na qual diz que o resultado da equação apresentada seria a transformação de calor em trabalho termodinâmico, e a esse tipo de sistema é denominado máquina térmica; comenta ainda que um exemplo disso seria a máquina a vapor que funcionava usando esse princípio, além dessa informação é dito que os que estudaram esse princípio foram Carnot e Clausius.

Na página seguinte, o livro traz três figuras: a máquina a vapor de Watt, veículos movidos a vapor e um barco movido a vapor. Não há contexto histórico nem social associado a estas figuras, assim como não há contexto nenhum no tema, a análise do livro é puramente técnica dando ênfase nas equações e demonstrações matemáticas.

No livro *Física 2*, de José Roberto Bonjorno, Clinton Marcico Ramos e outros, editora FDT, 3ª edição, de 2016, assim como nos outros livros analisados, a máquina térmica surge como um subtópico do tema leis da termodinâmica, na página 110, com o tema “rendimento de uma máquina térmica”, a análise surge logo após os enunciados da primeira e segunda leis da termodinâmica, em nenhum momento é mencionado o que seria uma máquina térmica, não há contexto histórico ou ao menos uma definição.

Como o próprio título do tópico propõe, a ênfase é no cálculo de rendimento. O livro apresenta as equações necessárias para tal cálculo, traz uma tabela mostrando rendimentos como de motores movidos a diferentes combustíveis e finaliza o tópico mencionando que não se pode construir uma máquina que operando em ciclos tenha um rendimento de 100%. Este livro analisado é um dos livros utilizados nas escolas estaduais da rede pública de Manaus. Como

mencionado, em relação aos outros três livros analisados, este é o que menos faz referência a um contexto histórico ou social relacionado a máquina térmica, as informações são técnicas, e há uma linguagem matemática formal tratando do tema.

Percebemos nesta breve análise que as estruturas não veem como relevante este tema, sua menção é sempre discreta e sem contextualização, os comentários são a títulos de exemplos, que não tem conexão nenhuma com o contexto apresentado. As informações matemáticas são priorizadas em função dos contextos históricos e sociais, não há referências de tecnologia ou utilização.

Os livros dão a entender que esse conhecimento foi construído de forma linear, por um único cientista e que a aplicação deste sistema é obsoleta, não há conexões com discussões sobre outras formas de energia ou mesmo o motivo de tal substituição. Apesar de haver uma grande preocupação em se falar de rendimento da máquina térmica, não existe nenhuma ligação com uma necessidade de busca de novas tecnologias ou formas de produzir trabalho mecânico. Percebemos, então, que os livros analisados apresentam um conhecimento pronto e linear a respeito do tema, quando apresentam.

Sendo estas apenas uma pequena parte das inúmeras estruturas apresentadas pelos livros didáticos, é possível ampliar a discussão sobre a importância do contexto histórico dos conteúdos de Física diante dessas superficialidades constatadas. Concordamos com Freitas (1996), ao mencionar que os inventores ou cientistas, dependendo de sua época para classificá-lo como tal, devem ser trazido em seu discurso a fim de contribuir em sua prática, e que estes personagens não assumam um papel meramente de nomes famosos na Física ou Ciência, mas que assumam papéis como sujeitos históricos, concretos, marcados por uma cultura de ideias e consciência, e que ao produzirem e reproduzirem a realidade social foram ao mesmo tempo influenciados por ela.

Pesquisas atuais, a respeito dos livros didáticos de Física constata basicamente a mesma realidade que descrevemos anteriormente, onde os cientistas vão contribuindo com a construção da Ciência de forma linear e cronologicamente cumulativa, a prática do ensino de Física a partir desta orientação acaba por disseminar informações que se distanciam da análise crítica proporcionada pela reflexão a respeito da história, discutida anteriormente (PUGLIESE, 2017).

Assim, pode-se afirmar que as mesmas estruturas estão se mantendo, apesar das mudanças dos livros. Portanto, conclui-se que o problema talvez não seja

somente ter um livro que aborde a História da Ciência de forma A ou B, mas um posicionamento crítico em relação a todo o processo envolvendo tal atividade: produção, sentidos, e interesses que por vezes vão além dos educacionais.

Ainda sobre os conteúdos históricos dos livros didáticos de Física, Moraes (2011) aponta em seus estudos outros aspectos contributivos para o entendimento de forma geral desta situação, sendo: 1) Os livros didáticos escolhidos buscam esgotar os conteúdos historicamente considerados como relevantes e não dão espaço para a inserção de outros; 2) As imagens que problematizam o cotidiano assumem uma posição didática que poderíamos chamar de unilateral; 3) Há pouca discussão sobre Ciência, tecnologia e sociedade; 4) Há uma dimensão cultural que não considera as questões sociais locais; 5) Os livros têm como concepção hegemônica a concepção global; 6) Ao abordar a tecnologia, as orientações e o livro didático a consideram como instrumento para resolver problemas.

Os pontos acima citados refletem não somente como estão os livros didáticos, mas também é possível identificar em suas características, elementos comuns do ensino de Física. Em muitos casos, o ensino baseia-se em externar de forma equivocada somente o que é encontrado no livro, caracterizado como apenas um receituário de assuntos, segundo Gouvêa (2008).

Neste sentido, percebe-se a distância temporal entre as pesquisas citadas (SCHENBERG, 1978; SILVA; TEIXEIRA, 2009; PUGLIESE, 2017) que as problemáticas relacionadas ao livro didático ainda são algo que se estende nos dias de hoje, apesar das recentes pesquisas relacionadas ao tema, ainda se mantém comum às características apresentadas em pesquisas de outras épocas, fato que nos leva a refletir acerca da organização e estruturação do conhecimento físico, assim como sobre o processo que envolve sua divulgação e seu tratamento por parte dos professores e das instituições formadoras e por isso buscamos na abordagem histórico-social dos conteúdos uma proposta de reestruturação deste conhecimento.

2.1 A Abordagem Sócio-Histórica e o Ensino de Física

Entendemos ser a abordagem sócio-histórica uma ferramenta para além dos nomes dos cientistas e de seu período de vivência, onde são necessárias discussões mais elaboradas a respeito da realidade histórica e social dos conteúdos,

mas nem sempre é possível discutir com clareza e coerência aspectos históricos e sociais diante da quantidade de conteúdos destinados ao ensino da Física e da estrutura ao qual estão vinculados os programas e testes de acesso às universidades, limitando o conhecimento escolar a um objeto sem valor em si mesmo e, sim, em algo externo a sua competência.

Neste sentido, faz-se necessária primeiramente uma mudança de visão das instituições formadoras diante da reformulação dos projetos pedagógicos de cursos de formação, como também, a visão do professor em relação à importância da contribuição desta abordagem no processo da aprendizagem, negada muitas vezes e visto como ferramenta complementar do conteúdo, a abordagem histórica perde espaço para outras práticas, geralmente já delimitadas e reproduzidas pelo professor durante os anos de estudo como estudante de ensino fundamental, médio e graduação e, por consequência, acaba reproduzindo a afirmação e valorização da racionalidade técnica em função de aspectos sociais e históricos.

Autores que se dedicaram a investigar os objetivos e conteúdos do Ensino de Ciências (FURIÓ *et al.* 2001; LEMKE, 2006; BANET, 2007) têm alertado para o fato de que a ênfase excessiva na aquisição de princípios gerais e abstratos, voltada para a formação da força de trabalho técnica e cientificamente preparada vem contribuindo para o isolamento da educação científica das preocupações cotidianas dos estudantes e favorecendo o distanciamento de questões relativas à realidade social (DUARTE *et al.*, 2009. p.1).

Freire e Shor (2011) definem a racionalidade técnica como uma forma de pensar e agir sobre os sujeitos no mundo, relacionada com a gestão dos meios de produção e consumo presentes no capitalismo, de forma a sempre ampliar a eficiência, com o menor ônus possível, tanto na utilização de recursos, quanto na obtenção de lucro. Slonski, Rocha e Maestrelli (2017) a descrevem como uma ideologia comprometida com o capital e não com as pessoas, baseada em desigualdade intencional de condições estruturais, materiais e intelectuais sobre a vida humana.

A racionalidade técnica se constitui na base do sistema produtivo capitalista e, assim, uma das principais ferramentas culturais que moldam as instituições e práticas sociais neste sistema. A educação é, portanto, uma das instituições afetadas por essa forma de pensar e agir. O Ensino de Ciências talvez seja o ramo da educação como um todo que tem sofrido esta influência mais diretamente, dada a

sua proximidade às Ciências naturais, que legitimaram esta visão no início da modernidade (DUARTE *et al.*, 2009. p. 1).

A escola atual, que tem como perspectiva a formação do cidadão, ainda produz e reproduz discursos direcionados a esta forma de pensamento, principalmente no que se trata aos exames de vestibulares e similares, o conhecimento aprendido é descrito por muitos professores com esse fim, para a aprovação nos testes, na tentativa de dar um sentido ao estudante para que esteja em contato com aquele determinado conhecimento. Muitas vezes, mais que uma resposta aos anseios dos estudantes em saber a utilidade daquilo que estuda, o discurso do professor apenas reflete aquilo em que acredita, reproduz a perspectiva do conhecimento para o ingresso no ensino superior, para que possam qualificar-se e, por consequência, ter um “bom emprego” ou não ter um subemprego. Uma perspectiva linear da realidade, assim como feito com a história da Física pelos livros didáticos.

A pouca discussão sobre a utilidade e função dos conteúdos e da escola na realidade do estudante acaba por produzir ainda mais um distanciamento social, característico da racionalidade técnica, em que a escola é tratada como alternativa para a tentativa de se chegar à universidade, e, caso este objetivo não seja alcançado, a escola não cumpriu seu papel e, em consequência, será algo “sem relevância” na sociedade e/ou para ela.

Segundo Valadares (2002), a racionalidade técnica, nega o mundo real da prática vivida e reduz o conhecimento prático do professor a uma técnica e/ou conteúdo apreendido em sua docência. Como consequência, o professor não estabelece relações de sua ação com uma totalidade em que vive, e, por isso, não produz conhecimento, apenas reproduz conceitos e técnicas, acreditando em uma ilusória melhor qualidade técnica do ensino.

A crítica feita ao tratamento dado pelo professor ao conhecimento é um reflexo da vivência experimentada por este em todos os momentos de sua vida escolar e acadêmica, enfatizada, muitas vezes em sua formação por aqueles que o ensinaram a ser professor por meio de técnicas e métodos pré-estabelecidos.

Garcia (1999 p. 19) identifica, em suas pesquisas, uma atitude ainda conservadora dentro dos programas de formação de professores onde há valorização da teoria – neutra e descontextualizada – em relação à prática, tendo como consequência uma formação conteudista, bem como a priorização na

qualidade técnico-conceitual do conhecimento. Em geral, o resultado é que a formação dos professores é concebida a partir de uma abordagem enciclopédica sem nenhuma abordagem social, histórica ou mesmo cultural.

Percebe-se, portanto, uma abordagem que não mudou apesar das mudanças sociais, ou pelo menos não mudou no sentido de inserir o estudante de maneira crítica nesta realidade. O professor carrega consigo a responsabilidade de cumprir aquilo que independente de sua visão, ou seja, formar o cidadão por meio de seu conhecimento a ser ensinado, porém, diante das limitações impostas e próprias, acaba por reproduzir o discurso da racionalidade técnica, valorizando a mão de obra e sua qualificação para o mercado de trabalho e, desta forma, contribuindo para o distanciamento da escola de sua função norteadora e a transformando em um ambiente burocratizado.

A escola burocratizada é definida por Slonski, Rocha e Maestrelli (2017) como aquela que não questiona os nexos entre poder e conhecimento, política e cultura, e muito menos quais as suas contribuições enquanto agência de reprodução cultural e social. Sua preocupação é limitada ao “como ensinar” e “atualizar” o que ensina. Para além do desenvolvimento profissional da mão de obra “qualificada”, não se questiona para que o conteúdo escolar deva ser ensinado, qual sua relevância ou para quem de fato esse conteúdo escolar e a ação dos professores seriam importantes. O processo torna-se reprodutivo e alienante.

Apesar das críticas e reflexões feitas, defendemos também que esta responsabilidade não é única do professor e das instituições que o formam, mas das necessidades externas que determinam e organizam as regras e diretrizes para se construir e promover o ensino. Buscamos dentro das possibilidades, apresentar soluções para um caso particular do ensino da Física, no qual acreditamos que a abordagem histórica e social contribua para auxiliar na desconstrução desta realidade pautada na racionalidade técnica e com único objetivo de produção de mão de obra para o mercado de trabalho, assim como na humanização do conhecimento físico e sua utilização como linguagem para compreensão, reflexão e mudança da realidade social. E, em relação a isso, há um posicionamento recente da sociedade científica brasileira diante da tentativa de mudança da estrutura do ensino médio, com características que limitam o ensino a racionalidade técnica e a qualificação profissional.

A nosso ver, tal perspectiva incorre em uma visão reducionista da formação de professores, que em vez de implementar no processo formativo a necessária unidade teoria-prática, que não pode ser dicotomizada, propõe uma desvinculação definitiva de teoria e prática, reduzindo a formação docente a um “como fazer” descompromissado de uma concepção sócio-histórica e emancipadora. Isso prejudica a qualidade da educação básica das crianças e jovens brasileiros, esvaziando-a de sua função social e cidadã. (Crítica à Base Nacional Comum Curricular, 2018, p. 2).

Percebe-se na manifestação das entidades científicas o reconhecimento da valorização da abordagem histórica na construção da linguagem científica e o caráter emancipador necessário ao ensino das Ciências, assim como aos demais conhecimentos escolares, que também pode ser visto por seu repúdio ao relatar os danos possíveis causados a partir da negligência das autoridades em propor um ensino ainda que ignorem a importância de tal característica.

Defendemos nesta pesquisa que a abordagem da História da Ciência ganha aspectos agregadores em sua aplicação quando, nas aulas de Física forem desenvolvidas a partir da perspectiva sócio-histórica, pois permite possibilidades de superação do reducionismo das concepções empiristas e idealistas, ou seja, superar a dicotomia entre teoria e prática em relação ao ensino e a aprendizagem das Ciências. Freitas (2002) enfatiza que, nessa abordagem, as compreensões dos fenômenos ocorrem a partir do seu acontecer histórico, e descreve este acontecer em sua particularidade, considerando-a uma instância da totalidade social.

A partir da compreensão sobre a abordagem sócio-histórica, pretende-se aplicá-la na realidade do ensino Física, entendendo o “particular” como o fenômeno físico a ser estudado e compreendido e a “totalidade social” como o momento histórico no qual ocorre tal fundamentação conceitual, pois discutir conceitos nas aulas de Física, em sua grande parte torna-se uma exposição de uma realidade pronta, na qual o estudante, muitas vezes sem questionamento, acaba aceitando o conceito exposto. Portanto, conceitos físicos interpretados a partir do senso comum, como força, energia, calor, luz, entre outros, desvinculados de uma abordagem social e histórica negam sua construção e afirmam sua existência absoluta enquanto conceito.

Buscamos com esta abordagem que as interpretações simbólicas trazidas pelos estudantes por meio do senso comum possam ganhar significados físicos e não ser substituído por eles, como geralmente ocorre. Isso significa que a Física precisa partir do conhecimento trazido pelo estudante de sua percepção dos fenômenos que o cercam e a partir disso ser compreendido cientificamente e não ter

suas concepções empíricas substituídas por definições abstratas trazidas pela Ciência com o discurso de “verdades científicas”. Acreditamos, portanto, que o ensino da Física não se preocuparia em chegar a uma abordagem que caracteriza a cientificidade própria das Ciências exatas, no que diz respeito ao método científico e ao rigor das experimentações e testes, e sim a um nível de linguagem de interpretação da realidade social e histórica, fazendo associações e análises a partir de relações entre passado e presente.

A abordagem sócio-histórica, segundo Bogdan e Biklen (1994), deve ter objetivo central e uma questão norteadora, assim, para o ensino de Física o objetivo seria o conceito ou construção do conceito que envolve o fenômeno a ser estudado, e a questão norteadora, seria a utilização deste conceito para questionar e refletir sobre sua realidade social. Os autores completam afirmando que trabalhar numa abordagem sócio-histórica consiste numa preocupação de compreender os eventos investigados, descrevendo-os e procurando suas possíveis relações, integrando o individual com o social.

Na perspectiva de Luria (1983), a pesquisa na abordagem sócio-histórica necessita encontrar uma observação que não se limite apenas à descrição de fatos singulares (os fenômenos físicos), o seu verdadeiro objetivo é compreender como um acontecimento se relaciona com outros (a realidade social, cultural e histórica que envolve o conceito). O autor comenta ainda que o distanciamento desta perspectiva nos coloca de volta associados ao que ele denomina como Ciência clássica, descrita como aquela que focaliza eventos de maneira fragmentada, concentrando-se em suas partes e em seus elementos isolados. Desta forma, a realidade viva fica reduzida a sistemas “áridos” e abstratos, ou seja, distante de uma realidade passível de análise e reflexão.

A Física apresenta muitos sistemas que se enquadram nas características da Ciência clássica descrita pelo autor, sistemas áridos e abstratos são comuns nas análises físicas, principalmente no momento da descrição matemática e na quantificação de fenômenos muitas vezes próximos em termos de aplicação, mas distantes conceitual e quantitativamente, tornando distante o diálogo entre a Ciência Física e a Física escolar, que busca ser a linguagem de interpretação da realidade do cotidiano do estudante, que apesar de serem entendidas como uma única Ciência, tornam-se diferentes ao encontrar perspectivas distintas. Sobre este tema,

Luria (1983) comenta a abordagem científica tradicional quantitativa é fundamentalmente limitada com respeito à vida.

Para exemplificar a respeito dos fenômenos próximos da realidade em termo de aplicação e distantes em sua quantificação, dois exemplos simples muito comuns e utilizados diariamente são o conceito de força e o de calor. A partir de nossa vivência no senso comum, todos temos uma interpretação errônea ou não do que sejam estes dois fenômenos, independentemente de nossa interpretação, esta percepção é suficiente para descrevermos os fenômenos envolvendo os dois conceitos que nos cercam.

Quando analisamos este conceito a partir da quantificação, deparamo-nos com uma interpretação que torna extremamente abstrata e distante os fenômenos que, para nossa percepção diária, são simples. Quando afirmo que calculo a força utilizada para mover um corpo e que a quantidade de força necessária são 150N (cento e cinquenta Newtons de força), quais interpretações posso trazer para os fenômenos cotidianos? Da mesma forma, quando calculo certa quantidade de calor recebida por uma fonte, o sol, por exemplo, e afirmo que esta quantidade corresponde a 400 cal (calorias), ou 400J (Joules), da mesma forma, o que posso trazer a partir dessa análise para minha realidade? Percebemos desta forma que, apesar da tentativa de trazer para a sala de aula uma Ciência que auxilie na interpretação da realidade, ao mesmo tempo se distancia deste objetivo e torna-se algo totalmente abstrato.

2.2 A Física escolar e a Ciência Física

A Física ensinada na escola é diferente da Física feita nos laboratórios dos grandes centros de pesquisa em Física, suas construções se dão de maneiras diferentes e são desenvolvidas para objetivos diferentes. O processo que traz a Ciência Física para as salas de aulas como conhecimento científico ocorre por meio da transposição didática, que é um processo de mudanças e adaptações do conhecimento desde sua produção até sua organização em sala de aula.

Para Chevallard (1991), esse processo pode ser classificado a partir do entendimento de três etapas da organização do conhecimento. Estas etapas estão relacionadas aos saberes denominados por ele como: saber sábio, saber a ser ensinado e saber ensinado. Com uma organização hierárquica, os saberes descritos

são modificados por meio de um processo de organização e adaptação deste conhecimento científico por grupos sociais de diferentes esferas até chegar às escolas na forma de conhecimento escolar.

Podemos descrever brevemente os grupos e suas relações com a produção e a disseminação do conhecimento da seguinte forma: o saber sábio está relacionado à comunidade científica, o saber a ser ensinado está ligado aos representantes do sistema de ensino e saber ensinado, à comunidade escolar.

O primeiro saber, classificado por Chevallard (1991), é o saber sábio. É o saber que se origina na comunidade científica, em grupos de pesquisa de áreas específicas das Ciências, em que são investigados diversos aspectos relacionados a estas. Este saber sábio está vinculado ao seu criador ou ao grupo de estudos que esteve buscando respostas a respeito dessa discussão e tem características próprias de seus autores.

O segundo saber é o saber a ser ensinado, que está relacionado aos currículos educacionais e podem ser percebidas nos livros didáticos, propostas pedagógicas e curriculares. Contudo, para que este saber esteja disponível para ser ensinado, é necessário passar por modificações na própria esfera acadêmica, onde haverá uma reorganização deste conhecimento sem o mesmo formalismo de sua organização primeira, passando também a ser associado a outras formas de conhecimento e linguagens a fim de alcançar o público ao qual será destinado, porém mantendo sua originalidade conceitual.

O terceiro saber é o saber ensinado, que está relacionado às práticas pedagógicas do professor utilizando o saber a ser ensinado, suas adaptações e organização deste saber de acordo com suas percepções, com objetivo de que, ao ser exposto, tenha como consequência o entendimento dos estudantes. Chevallard (1991) denomina esta organização de sistema didático, e a descreve como composta por três elementos: professor, estudante e saber ensinado, sendo que integram um sistema maior, denominado sistema de ensino.

É importante mencionar que o sistema de ensino deve considerar as mudanças de paradigma que ocorrem na comunidade científica, pois este fato reorganizará o saber sábio e como consequência, provocará mudanças no saber a ser ensinado e no saber ensinado, iniciando assim um ciclo de mudanças e adaptações dos saberes, bem como uma atualização dos conhecimentos escolares.

Todas as Ciências e os conhecimentos escolares de forma geral passam pelo processo descrito acima, porém, ao adentrar na escola, deveriam estar mais relacionados aos aspectos sociais e práticos das aplicações cotidianas. Assim, descreve as orientações dos parâmetros curriculares para o ensino médio sua análise sobre as diferenças entre as abordagens e a perspectiva que se deve ter ao ensinar a Física na escola.

A disciplina escolar Física é tratada de forma diferenciada da disciplina científica Física, em relação à Ciência Física, esta deve ser tratada em seu aspecto prático e social, com vistas à solução de problemas concretos e não como simples ilustração e pode ser entendida como preparação para o trabalho. Já o ensino da disciplina escolar Física deve ser contextualizado (história e cotidiano) e a partir da interdisciplinaridade desenvolver a competência crítico-analítica do estudante. Os conhecimentos em Física constituem-se em cultura e devem ser utilizados para a compreensão do mundo (GOUVÊA, 2008. p. 20)

Ao longo dos séculos, muitas teorias e conceitos físicos foram desenvolvidos (a Física enquanto Ciência), conceitos sobre como a Física se faz (a epistemologia e a filosofia da Ciência) e, não menos importante, muitas teorias e conceitos estão surgindo sobre ensinar e aprender Física (o ensino de Física enquanto Ciência) (PUGLIESE, 2017). Diferentes perspectivas para a mesma Ciência coloca o professor diante de uma diversidade de possibilidades para se abordar a Física na escola, porém apesar disso, a Ciência Física ainda está presente nas escolas e, por muitas vezes, contribuindo para um distanciamento social entre Ciência e estudantes.

Pugliese (2017), ao abordar professores a respeito de sua visão de Ciência e de sua prática, traz dados interessantes para análise e reflexão, apesar da pesquisa e ter sido feito em outro estado, seus resultados se aproximam bastante do restante das pesquisas divulgadas em História da Ciência nos últimos eventos de pesquisa em ensino de Física e Ciência e não se distancia em nenhum momento da realidade presenciada por nós em salas de aula.

Os dados da pesquisa relataram a seguinte realidade a respeito das considerações dos professores sobre sua prática: 1) as aulas são quase exclusivamente expositivas de conteúdo dos livros didáticos ou de materiais relacionados aos exames de ingresso nas universidades; 2) as atividades realizadas com os estudantes são basicamente limitadas a resoluções de exercícios

conceituais e matemáticos, e, quando possível, com experimentação demonstrativa do conceito; 3) quase a totalidade dos professores considera necessária a experimentação em aulas de Física; 4) a maioria também considera necessária a realização de visitas externas e de exercícios práticos experimentais, leitura de textos didáticos e histórico-científicos.

Dentro dessas condições, há uma tentativa vã de se ensinar Física como se esta fosse construída de forma linear: primeiramente, tenta-se ensinar a Física Clássica para, se possível, alcançar o estudo da Física Moderna (que não se alcança). Tenta-se ensinar os conceitos para, se possível, fazer experimentações (que não são feitas). Essa prática é o oposto da Física enquanto Ciência e cultura, gera um ensino não reflexivo, que remete ao senso comum e à manutenção da ordem de classe social pois não se faz investigação experimental e, portanto, não há erros, apenas as certezas dos livros didáticos, não há revolução científica, não há incertezas, há apenas condicionamento ético (PUGLIESE, 2017).

A partir deste contexto e das reflexões apostamos na abordagem sócio-histórica como possibilidade de buscarmos superar uma aprendizagem descontextualizada por uma aprendizagem que faça sentido ao estudante, aproximando-o de sua realidade sociocultural. A perspectiva sócio-histórica será desenvolvida a partir do conteúdo máquinas térmicas, tendo como instrumento crítico deste processo, o livro didático.

Tomamos como exemplo o uso de máquinas simples por seres humanos, estas são pontos de partida para o levantamento de modelos explicativos fundamentados nos conhecimentos científicos, legítimos e universais. Não são explicitadas questões sobre mecanização do trabalho, organização do trabalho, ou seja, há pouca discussão sobre Ciência, tecnologia e sociedade. Assim, parece-nos que há pouco espaço para a complementação curricular e o livro didático passar a ter uma dimensão cultural que não considera as questões sociais locais (GOUVÊA, 2008, p. 12). Os livros de Física não abordam o contexto social dos conteúdos e, quando tentam, acabam por assumir apenas um papel de ilustrativo da Ciência Física aplicada ao cotidiano.

3. FUNDAMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA

A pesquisa segue a abordagem qualitativa em perspectiva sócio-histórica de Vygotsky (2001), fundamentada pela perspectiva de Luria (1983), a qual destaca que esta abordagem se caracteriza pela necessidade em encontrar observações que não se limitem apenas à descrição de fatos singulares, pois seu verdadeiro objetivo é compreender como um acontecimento se relaciona com outros (a realidade social, cultural e histórica que envolva os conceitos). Para discussão dos resultados, usamos a análise do conteúdo de Bardin (2011), a qual se trata de um conjunto de instrumentos de cunho metodológico em constante aperfeiçoamento que se aplicam a discursos e, conteúdos diversificados, esta interação ocorre a partir de um objeto comum que é a linguagem e como esta se apresenta nos contextos mencionados acima.

O recurso utilizado para a construção dos resultados foi o de transcrição e posterior análise do vídeo. O ato de transcrever é definido por Freire (2007) como técnica a serviço da escrita de uma língua relacionado ao ato de reproduzir copiando e direcionado a estudos linguísticos de interpretação e análises em diversos contextos. A transcrição teve como objetivo identificar em sua estrutura, momentos de potencialidade do conteúdo que poderiam ser trabalhados pelo professor a partir da perspectiva da alfabetização científica. O vídeo foi transcrito de forma completa, expondo todas as informações faladas ao longo de sua duração, na ordem em que se apresentavam.

A análise se deu a partir da leitura e reflexão dos pontos que identificamos como importantes dentro da abordagem do conteúdo de Física que circundam o tema motivador da pesquisa que foram as máquinas térmicas. Identificamos um total de dezoito abordagens a partir do vídeo que se apresentam como possibilidades de se promover a alfabetização científica a partir de diferentes contextos como conceitos físicos, aspectos históricos, personagens da História da Ciência, assim como o contexto social envolvido no processo, fatores que convergem para o referencial de análise que são os eixos estruturantes da alfabetização científica descritos por Sasseron e Carvalho (2011).

Para fundamentarmos a escolha pela teoria sócio-histórica, buscaremos neste momento fazer um apanhado das principais características, contribuições e possibilidades, direcionando a discussão especificamente para o ensino de Física. A

construção se dará por meio de análises de trabalhos desenvolvidos a partir desta temática, onde discutiremos as possibilidades de sua utilização em atividades que tenham como objetivo a efetiva aprendizagem de conceitos e processos relacionados à Física.

Rosa e Rosa (2004) mencionam que, apesar da teoria de Vygotsky não ter sido elaborada com base na aprendizagem escolar, ela tem sido de grande importância para aqueles que buscam alternativas para melhor ensinar Ciências. No caso específico do ensino da Física, ela pode ser vista como uma teoria que facilita a aprendizagem sem recorrer a recursos tecnológicos ou sofisticadas técnicas de ensino. Muitas são as propostas de ensino desenvolvidas a partir de suas teorias, neste capítulo, abordaremos a teoria sócio-histórica como forma de vislumbrarmos uma análise relacionada à sua contribuição para ensino de Física.

Na teoria sócio-histórica de Vygotsky (2001), enfatiza-se a importância do meio cultural e social no desenvolvimento do homem em diversos aspectos relacionado à aprendizagem, nela é explicada a forma como o processo de desenvolvimento é socialmente construído e como a aprendizagem e o desenvolvimento se inter-relacionam. Para tanto, o autor organiza sua proposição a partir de quatro aspectos, são eles: mediação, internalização do conhecimento, zona de desenvolvimento proximal e a formação de conceitos.

Estes processos podem ser entendidos de maneira simplificada da seguinte forma: a mediação é a etapa do desenvolvimento do pensamento a partir da presença de estímulos e signos. A internalização está relacionada ao contato com a realidade social e a apreensão de conhecimentos relacionados a esta, como as questões culturais e as informações cotidianas adquiridas a partir da convivência social da criança com seu meio familiar, por exemplo. A zona de desenvolvimento proximal está ligada à relação entre aprendizagem escolar e desenvolvimento, sendo esse, talvez, o fator principal da sua teoria. A formação de conceitos relaciona-se diretamente com o processo de internalização, tendo como característica o confronto entre o conhecimento espontâneo e o conhecimento científico.

Vygotsky (2001) define como conhecimento espontâneo aquele que a criança adquire nas experiências cotidianas, com a cultura em que está inserida e com a própria convivência social com seus pares, esta forma de conhecimento são conceitos não sistemáticos e não organizados. Já o conhecimento científico será

definido como um conceito assimilado de forma sistematizado, intencionalmente transmitido por métodos específicos dentro do processo de ensino e aprendizagem em ambiente escolar e relacionado às Ciências Sociais, línguas, Matemática e Ciências Naturais.

No decorrer do processo da formação de conceitos, menciona Vygotsky (2001) que, à medida que os conceitos científicos avançam, o mesmo ocorre com os espontâneos e vão construindo assim uma relação integrada entre as duas formas de conhecimento. O autor menciona ainda que a aquisição de conceitos científicos é mais eficaz quando eles são associados a exemplos concretos de sua experiência cotidiana e que é a partir disso que ela aperfeiçoa e estrutura lógica desses conceitos.

Neste sentido, portanto, o professor tem papel fundamental no processo da aprendizagem dos conceitos científicos, pois é ele o mediador entre estudante e objeto de conhecimento, além de ser necessário também o espaço para que aspectos sociais e culturais dos estudantes sejam levados em consideração no momento de se trabalhar os conteúdos,

São recorrentes as discussões levantadas a respeito das dificuldades apresentadas pelos estudantes em relação à aprendizagem da Física, e entre elas está a dificuldade em relacionar os fenômenos físicos aplicados ao seu cotidiano. Este fato está relacionado a práticas e metodologias que desconsideram a existência de um conhecimento prévio trazido pelo estudante a partir de suas vivências, o que acaba por culminar em um processo de ensino sem significado em relação à aprendizagem, ficando apenas num plano abstrato.

Rosa e Rosa (2004) comentam que não podemos ignorar em nossa prática docente que os estudantes convivem em uma sociedade que transmite, mesmo que de maneira informal e não sistematizada, algum tipo de conhecimento, e devemos criar a ligação, sempre que possível, entre conceitos espontâneos e científicos, pois, como mencionados anteriormente, este processo tende a favorecer a aprendizagem e a construção do conhecimento.

A Física conceitua fenômenos muito próximos de nossa realidade, tem como objeto de estudo grandezas e fenômenos que, no dia a dia de nossas vivências, são comuns. Por isso, entendemos que este aspecto é um ponto chave para estruturarmos diálogos a respeito de tais conceitos e com isso promover interação entre os estudantes, possibilitando-lhes oportunidade de exposição de suas

concepções, mesmo que errôneas inicialmente, sobre o assunto, pois é a partir disso que ocorrerá o processo de confronto entre o conceito espontâneo e o científico descrito na teoria de Vygotsky.

Por exemplo, ao trabalharmos o conceito de força, temos essa oportunidade de propor argumentações com o objetivo de se chegar a uma definição. Todos são familiarizados com a palavra *força*, não causará estranhamento a nenhum estudante uma abordagem deste tema, visto que convivem no dia a dia com seus efeitos e aplicações e ouve-se constantemente esta palavra descrevendo inúmeros sistemas, logo todos possuem uma ideia a respeito do seu significado.

É preciso iniciar uma discussão em torno de suas aplicações, de onde encontramos este conceito associado em nossas vivências ou até mesmo solicitar ao estudante que ele tente definir por conta própria o conceito de força, fazendo-o perceber que estes e muitos outros conceitos físicos não são discutidos, apenas utilizados a partir de uma ideia que temos de sua aplicação. Trata-se de uma ótima oportunidade de mediação deste conhecimento, ao invés de começarmos a discussão definindo o conceito, como muitos livros didáticos fazem com diversos conceitos físicos, como temperatura, calor, movimento, etc. Fatos que muitas vezes dificultam a compreensão e análise de certas grandezas físicas, pois certos conceitos são abstratos e, sem a devida discussão, tendem até mesmo a confundir as análises das aplicações cotidianas.

Além disso, os conceitos discutidos são sempre recheados de fórmulas e seguidos de uma infinidade de exercícios numéricos para serem resolvidos, como se a Física fosse, essencialmente, matemática aplicada. Essa ênfase demasiada dada ao ensino da Física, como aquele capaz de resolver problemas numéricos propostos por livros didáticos é outro fator que tem contribuído para afastar os estudantes dessa Ciência. (ROSA; ROSA, 2004, p. 7).

No caso específico da Física, dentro desta perspectiva, o ensino se configura por um processo baseado em diálogo, direcionado intencionalmente para trocas de informações entre professor e estudante, assim como entre estudante e estudante a partir de grupos, ou de práticas pré-definidas, dando ao discente espaço para expor suas ideias e percepções sobre os temas, buscando uma participação coletiva e dessa forma contribuindo também para uma aprendizagem coletiva.

Na perspectiva de Vygotsky (2001), a linguagem é fundamental no desenvolvimento mediado em um ensino voltado para o social. O professor, ao

utilizar uma linguagem próxima à do contexto sociocultural dos estudantes, atingirá de maneira mais significativa os seus objetivos, pois o contato destes com os signos e símbolos relacionados ao seu meio favorece o processo de internalização dos conhecimentos.

Atividades organizadas a partir desta perspectiva tendem a proporcionar aquisição do conhecimento como um processo cognitivo, opondo-se à mecanização, pois valoriza a realidade histórico-cultural e social do educando. Contudo, nas práticas atuais do ensino de Física, ainda se valoriza o ensino voltado para a transmissão dos conteúdos, no qual o professor assume postura de detentor do conhecimento, o que o autor considera como o principal problema relacionado a este tema. O autor ainda traz importante reflexão acerca da questão do “valorizar a realidade histórico-cultural do estudante” na qual descreve os pressupostos para uma prática com esta característica:

Analisando-se detalhadamente o que significa levar em consideração o que o estudante já sabe, pressupõe-se uma postura diferente daquela que vem sendo adotada pela maioria dos professores, ou seja, exige que o professor faça uma análise prévia acerca do assunto e ensine de maneira participativa e não linearizada, dentro de uma visão mais crítica e aberta de ensino. Essa forma de ensino, em que os estudantes têm espaços para expor suas opiniões, para discutir as suas ideias de maneira a poder confrontá-las deve ser sempre o objetivo principal do ensino em sala de aula ou a principal variável dependente usada na avaliação da eficácia do ensino, pois, só assim, o estudante conseguirá adquirir um verdadeiro conhecimento acerca do assunto discutido. É na busca de uma aproximação entre os conhecimentos prévios que o estudante já possui e os científicos que os professores devem embasar as suas práticas pedagógicas. Muito mais do que uma questão de estratégia de ensino é uma questão de necessidade para que, de fato, o processo ensino aprendizagem se consolide. (ROSA; ROSA, 2004, p. 6).

Diante dessa descrição, percebemos que a visão do professor em relação ao processo tem fundamental importância para se alcançar os pressupostos da teoria apresentada. Para Vygotsky, a mediação feita pelo educador durante a sua prática o torna agente do processo e parceiro mais capaz a ser imitado, logo seu posicionamento em relação a isso é engrenagem central de todo o andamento da proposta. É necessária uma mudança na prática de supervalorização do conteúdo e das análises matemáticas no ensino de Física. É preciso que o processo se torne mais dinâmico e dialógico, que o conhecimento se torne acessível em todos os termos aos estudantes para que assim encontremos um ensino de qualidade.

Outra atividade proporcionada no ensino de Física que ganha destaque quando analisada a partir da teoria de Vygotsky a respeito da mediação, são as atividades experimentais, pois, segundo Monteiro (2006), este tipo de atividade, por sair da estrutura geralmente adotada como aulas expositivas de conteúdo, gera grande interesse e curiosidade por parte dos estudantes.

Neste momento, o papel de mediação fica exposto de forma que as interações necessárias à compreensão da atividade viabilizem situações de aprendizagem, pois a necessidade de compreensão dos sistemas experimentais, seja ela por mera curiosidade inicial, os promove motivação em expor suas concepções, mesmo equivocadas, acerca do funcionamento do experimento e, neste momento, normal e naturalmente há diálogo por parte dos estudantes e entre eles para chegar a uma conclusão do funcionamento do experimento.

A postura do professor diante deste fato é fundamental para a eficácia do processo. É necessário questionar os estudantes, assim como estimular o questionamento por parte deles; é preciso criar um ambiente de diálogo diante dos questionamentos sem se chegar de maneira direta às respostas, pois este exercício de reflexão os levará a buscar em suas referências de vivências, assim como as relacionadas ao conhecimento científico, as respostas para as questões levantadas, ocorrendo assim o processo de conflito entre conceitos espontâneos e científicos.

Para Gaspar (2009), a teoria de Vygotsky aplicada a atividades experimentais estabelece relações diferentes das atividades teóricas, e destaca três pontos em sua contribuição para a construção do ambiente necessário a aprendizagem a partir disto. Sua primeira observação diz que por se tratar de um único sistema teoricamente novo ao estudante, durante este momento todos irão discutir as mesmas ideias e tentar responder às mesmas perguntas. O autor destaca este ponto como uma das condições essenciais para que a interação social se desenvolva adequadamente.

A segunda contribuição está na riqueza da interação social que ela desencadeia. O autor discute que as questões teóricas são apresentadas em enunciados que limitam condições, enquanto numa atividade experimental isso não ocorre, pois, dependendo do sistema, não temos como desprezar fatores como temperatura, vento, atrito, e outros, que em atividades teóricas não são levados em consideração.

O terceiro ponto destacado pelo autor está relacionado ao envolvimento do estudante em relação a esse tipo de atividade, pois, independentemente dos motivos que os levam aos questionamentos sobre o experimento, segundo Moreira (2000), destacam-se dois motivos principais para sua interação, são elas: a possibilidade da observação direta e imediata e resposta livre de argumentos de autoridade, obtêm uma resposta natural, geralmente limitada em atividades teóricas por dependerem de conhecimentos prévios para respondê-las, o fato de haver este espaço na atividade experimental promove uma interação social mais rica, motivadora e, conseqüentemente, mais eficaz.

Gaspar (2009) conclui, a partir do ponto de vista vygotskyano aplicado ao ensino de Física em relação às práticas experimentais, que, para que estas sejam eficientes, devem ser levadas em consideração as seguintes observações:

A primeira delas está relacionada à escolha do modelo experimental a ser trabalhado, o autor menciona que cabe ao professor escolher um modelo experimental e tornar a explicação deste modelo acessível ao estudante, independente da complexidade do tema abordado. Portanto, não é apenas o experimento em si e sua interação com o estudante que promoverá o processo, é necessário que o modelo escolhido dê possibilidade de análise ao estudante e a partir disso possa se construir o diálogo.

O segundo ponto é garantir que haja outros participantes preparados participando da atividade, a fim de dar direcionamento aos questionamentos e diálogos que pode não ser possível se centrado apenas no professor. Segundo Vygotsky (2001), não são as ações materiais diretas e individuais que possibilitam a aprendizagem, mas o diálogo, a discussão verbal e simbólica com quem sabe, pois a interiorização da linguagem cria as estruturas de pensamento que possibilitam a aprendizagem e a compreensão.

O terceiro ponto mencionado é que todos os participantes do processo saibam claramente quais questões devem ser observadas e respondidas a partir do momento que os estudantes entram em contato com a atividade, e é necessário respeitar ambos os momentos. Não se deve discutir ou explicar qualquer questão no momento de observação, para isso é necessário que todos saibam previamente o objetivo da observação para enfim haver o diálogo.

Como último ponto, é mencionada a questão da linguagem utilizada no processo, onde todos os participantes sejam capazes de compreender a linguagem

utilizada, seja ela verbal, gráfica, simbólica, etc. e é uma habilidade desenvolvida socialmente e exclusivamente pela interação entre parceiros, daí a sua importância no processo, é por meio dela que se encontrarão possibilidades de interação.

Diante do exposto, concluímos que a teoria sócio-histórica de Vygotsky (2001) tem papel fundamental no ensino de Física. A partir dela, é possível propor atividades mediadas a partir da interação entre professor estudante ou grupos de estudantes, tendo como objetivo o processo de aprendizagem. A teoria indica uma relação de dependência entre desenvolvimento intelectual e as relações sociais que são estabelecidas ao longo do crescimento do ser humano.

Como exemplo, temos também as atividades práticas de demonstração desenvolvidas tanto em ambientes de ensino formal como informal, valorizando os aspectos sociais e culturais do estudante, abrindo espaço para diálogos e interações a partir de uma linguagem que interaja com a científica, possibilitando experiências cognitivas. Segundo Vygotsky (2001), é impossível pensar o ser humano privado do contato com um grupo cultural, pois é este que fornecerá instrumentos como a linguagem, signos e representações que possibilitarão o desenvolvimento das atividades psicológicas mediadas, tipicamente humanas.

Dentro dessa concepção, o aprendizado é o processo fundamental para a construção do ser humano, a inserção do indivíduo num determinado ambiente cultural é parte essencial de sua própria continuação enquanto pessoa e cabe ao ensino escolar proporcionar ambiente adequado para estas interações voltadas a Ciência, tecnologia, sociedade e outros aspectos de mesma relevância ao processo da formação cidadã.

3.1 Descrição do objeto para promover a alfabetização científica

O objeto analisado na pesquisa foi o vídeo intitulado *Ordem e Desordem: A História da Energia*, documentário feito pela rede de televisão BBC no Reino Unido em 2012, disponível para livre acesso na plataforma de vídeos online YouTube. A partir desse recurso, refletimos sobre seu conteúdo com o objetivo de mostrar seu potencial de utilização em sala de aula para práticas que tenham como finalidade promover ou proporcionar meio para que ocorra a alfabetização científica, para isso

utilizaremos como referência os eixos estruturantes da alfabetização científica descritos por Sasseron e Carvalho (2011) em suas pesquisas sobre o tema.

O vídeo foi transcrito na íntegra a partir das falas dos apresentadores, com o objetivo de identificar os elementos para relacioná-los aos eixos estruturantes. A construção das reflexões se organizou a partir de três momentos: leitura, análise e reflexão do contexto apresentado. As discussões estão apresentadas junto à descrição para que seja possível uma melhor percepção do conteúdo como um todo e não como fragmentos analisados de maneira isolada. Durante o processo transcricional, identificamos como “Transcrições para as análises” um parágrafo ou um conjunto de parágrafos que contenha uma ou mais ideias centrais que, quando analisadas, foi possível associá-las a algum dos eixos estruturantes que nos servem como referência. A partir disso, apresentamos as possibilidades de abordagens dentro de um contexto de sala de aulas a partir de elementos que, por meio do processo de mediação, possam contribuir para promover da alfabetização científica, a este processo de reflexão, identificamos no texto como “Análise” seguida pela ordem numérica de sua apresentação no texto.

Dentro da análise, foi possível identificar dezoito pontos que podem ser discutidos a partir dos indicadores da alfabetização científica. Sete deles são relacionados ao primeiro eixo, que está relacionado à compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais para interpretações de situações cotidianas. Oito deles são direcionados ao segundo eixo, que trata da compreensão da natureza das Ciências e dos fatores éticos e políticos que circundam a prática científica, assim como o caráter humano e social inerente a investigação científica. Por fim, dois estão relacionados ao terceiro eixo, que trata das relações existentes entre Ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente e, por fim, um ponto de análise que apresenta características possíveis de abordagem a partir de dois deles, sendo o primeiro e o terceiro eixo, respectivamente.

4. TRANSCRIÇÃO E ANÁLISE DO OBJETO - *ORDEM E DESORDEM: A HISTÓRIA DA ENERGIA*

Transcrições para a análise 1: Como os humanos adquiriram o poder para transformar o planeta desta forma? Olhar para a terra à noite nos revela o quanto fomos bem sucedidos na obtenção e manipulação da energia e o quanto isso é importante para a nossa existência. Energia é vital para todos nós. Nós a usamos para construir estruturas que nos cercam e protegem, a usamos para mover nosso transporte, iluminar nossas casas e, ainda mais crucialmente, a energia é essencial para a própria vida. Sem a energia que obtemos das comidas que comemos, nós morreríamos. Mas, o que exatamente é energia, e o que a faz ser tão útil para nós? Ao tentar responder essa questão, os cientistas geraram um estranho conjunto de leis que iriam unir tudo, de motores aos humanos e a estrelas. Acontece que a energia, que é tão crucial para nossas vidas, também nos ajuda a entender o universo inteiro.

Este filme é uma intrigante história de como descobrimos as regras que governam o universo. É a história de como percebemos que toda forma de energia está destinada a se degradar e desaparecer, a se mover da ordem para a desordem. É a história de como este incrível processo foi usado pelo universo para criar tudo que temos ao nosso redor.

Análise 1: Neste primeiro momento, é introduzida a ideia central do conceito a ser discutido durante todo o processo. Sem nos dar a resposta, surgem questionamentos sobre o conceito de energia, um dos conceitos mais amplos que temos dentro do estudo da Física, que vai do simples deslocamento de uma pessoa a formação de corpos celestes, o conceito de energia introduzido desta forma e mediado no processo de ensino aprendizagem nos permite mostrar ao estudante o quão próximo é de sua realidade este e outros conceitos físicos, o quanto estamos cercados de conceitos que não questionamos por simplesmente fazer parte de nossa realidade desde sempre, nos exemplos mencionados é possível um reconhecimento imediato da necessidade de tal conceito mesmo antes de qualquer discussão conceitual: iluminação, transporte e energia necessária para vivermos enquanto sistema orgânico é uma introdução muito ampla e ao mesmo tempo extremamente próxima de nossa realidade, encaixando-se no primeiro eixo

estruturante da alfabetização científica que trata sobre a compreensão básica dos conceitos científicos fundamentais.

Transcrições para a análise 2: Ao longo do curso da história humana inventamos diferentes meios de extrair energia do nosso ambiente, desde colher frutas, queimar madeira, barcos a vela, até rodas d'água. Mas, cerca de 300 anos atrás algo incrível aconteceu: os humanos desenvolveram as máquinas que eram capazes de processar incríveis quantias de energia para realizar tarefas antes inimagináveis. Isso aconteceu graças a muitas pessoas e por muitas razões diferentes, mas eu gostaria de começar essa história com um dos personagens mais intrigantes da História da Ciência, um dos primeiros que tentou entender a energia: Gottfried Leibniz.

Leibniz era um diplomata, cientista, filósofo e gênio. Ele estava sempre tentando entender os mecanismos que fazem o universo funcionar. Leibniz, como outros cientistas de seu tempo, estava absolutamente convencido de que o mundo que vemos ao nosso redor é uma vasta máquina projetada por uma pessoa sábia e poderosa e se pudéssemos entender como as máquinas funcionam poderíamos, portanto entender como o universo e os princípios que haviam sido usados para fazer o universo funcionarem. Para Leibniz, existia então estreita relação entre teologia e filosofia em uma mão e engenharia e mecânica na outra. Leibniz argumentou que o mundo é uma máquina viva e que dentro da máquina está uma quantidade de força vital colocada por Deus durante a criação que irá continuar a mesma para sempre, então a quantidade de força vital no mundo irá ser conservada, o enigma era como defini-la.

Análise 2: Aqui percebemos a estreita relação entre Ciência e religião na construção da visão científica deste personagem. Este fato é de grande valor para discussões, pois hoje se percebe religião e Ciência em sentidos opostos, principalmente a partir de discussões fundamentadas pelo cientificismo propagado pelos grandes meios de comunicação. Mostrar a relação existente entre Ciência e religião é um fator de grande produtividade dentro da mediação do professor sobre o tema, mostrar ao estudante as diferentes motivações e interpretações da realidade neste momento e em outros de construção científica torna o debate mais sólido, a percepção de um deus criador e a consciência da necessidade de compreender a realidade em que se insere motiva o homem de seu tempo na busca de respostas a partir de todos os conhecimentos possíveis a seu alcance, desde a teologia, Física

ou a engenharia. Esta discussão pode ser entendida a partir do segundo eixo estruturante relacionadas ao caráter humano e social inerente à investigação científica.

Transcrições para a análise 3: Era esse relacionamento entre filosofia e engenharia que em 1676 o levaria a investigar o que inicialmente parecia uma questão muito simples: o que acontece quando objetos colidem? Era com isso que Leibniz e muitos de seus contemporâneos se preocupavam. Quando essas bolas batem uma na outra o movimento de um se transfere para outra, é como se algo tivesse passado entre elas, e foi isso que Leibniz chamou de força vital. Ele imaginou que isso fosse uma coisa, uma substância física que é trocada durante as colisões.

Análise 3: Aqui temos a compreensão do mundo físico partir da experiência cotidiana, assim como o questionamento de Leibniz, em nossa vivência diária nos deparamos com conceitos e situações que também não entendemos ao certo sua origem ou seu proceder, mesmo hoje tendo as resposta a estes questionamento de forma mais acessível devido ao desenvolvimento das Ciências da natureza e a facilidade do acesso a informação. Conceitos como força, temperatura e movimento são exemplos de compreensões cotidianas que não buscamos entender ou descrever. Este processo é importante para debate em sala de aula, pois leva o estudante a reflexão e questionamento de seu conhecimento e de sua realidade. Esta proposta se pauta no primeiro eixo estruturante que trata dos conceitos científicos fundamentais para descrições de situações cotidianas.

Transcrições para a análise 4: Leibniz logo iria achar uma simples maneira matemática de descrever a força vital, mas ele também veria outra coisa, ele percebeu que na pólvora, fogo e vapor sua força vital estava sendo liberada de forma poderosa e violenta, se pudesse ser aproveitada poderia dar a humanidade poder inimaginável. Leibniz logo ficaria fascinado com maneiras de capturar a força vital. Escritor prolífico, Leibniz se correspondeu com um jovem artista francês chamado Denis Papin. Ao se corresponder com Leibniz, Papin percebe que a força vital em certas situações podia de fato ser aproveitada. Papin não tinha dúvida: o calor podia ser convertido em alguma forma de ação útil. Mas até onde essa ideia poderia ser levada? Este é um trecho da carta dele para Leibniz: “Posso te garantir quanto mais eu avanço, mais encontro razões para ter essa invenção em alta conta, que em teoria, poderá aumentar os poderes do homem ao infinito, mas na prática,

eu acredito que posso dizer sem exagero, que um homem com esse meio conseguiria fazer tanto quanto cem outros sem eles”.

Agora você pode estar esperando que eu te diga que Leibniz e Papin mudaram o mundo para sempre. Bom, eles não mudaram. Suas ideias foram profundas e importantes, sim, mas eles não moveram as coisas adiante, para isso, você precisa de algo muito mais tangível, você precisa de inovação, indústria e inúmeros trabalhadores e artesãos que irão aplicar essas ideias e fazer experimentos com elas de maneiras novas e singulares. No século que seguiu a Leibniz e Papin isso iria acontecer da maneira mais dramática possível. 150 anos depois das discussões de Leibniz e Papin a força vital foi aproveitada de maneiras espetaculares, as máquinas que eles sonharam se tornou realidade, motores a vapor era agora a ponta de lança da tecnologia do século XXI.

Análise 4: É possível refletir neste momento o que discutimos no referencial teórico da pesquisa sobre os livros didáticos, onde a Ciência nestes é apresentada de maneira linear, sem interrupções, onde os cientistas fazem suas contribuições e as “passam” a frente para o próximo, que se apropriará dela para dar continuidade ao trabalho anterior, percebemos aqui a limitação existente em relação as tecnologias de cada época, é possível haver uma interpretação de certa realidade ou fenômeno, mas as imposições do momento histórico não permitem o avanço destas pesquisas, que ficam como contribuições e voltam a serem observadas quando é possível um sistema contemplar esta produção, no caso do exposto pelo vídeo, um século e meio de intervalo temporal até que isso pudesse ocorrer. Esta interpretação pode ser encaixada no terceiro eixo estruturante, onde deve haver compreensão das relações existentes entre a Ciência, tecnologia e sociedade, suas limitações e consequências.

Transcrições para a análise 5: Se você olhar para os passos da civilização, então um grande passo foi o motor a vapor, pois ele substituiu o músculo, tanto o animal quanto o nosso músculo, por energia a vapor. E a energia a vapor era efetivamente ilimitada e incrivelmente importante para fazer coisas quase inimagináveis. A razão pela qual essas questões persistiam era simples, quase ninguém havia entendido a fundamental natureza do motor a vapor, pouquíssimos eram cientes do princípio cósmico que os sustenta. Essas máquinas enormes e pesadas que lembramos como os primeiros motores a vapor foram a semente do entendimento de tudo que

acontece no universo. Por mais improvável que possa parecer, os motores a vapor guardavam dentro de si os segredos do cosmos!

Este é o Chateau de Vincennes em Paris. Eventos aqui motivariam a jornada de um homem para descobrir a verdade cósmica sobre o motor a vapor e ajudariam a criar uma nova Ciência. A Ciência do calor e movimento: a termodinâmica.

Introdução às contribuições de Nicolas Leonard Sadi Carnot (1796 - 1832)

Em março de 1814 durante as guerras napoleônicas, enquanto Napoleão e seus exércitos lutavam em outro lugar, Paris sofreu um ataque constante das forças combinadas da Rússia, Prússia e Áustria. Os cidadãos foram colocados em locais estratégicos para defesa. Esse chateau foi defendido por um grupo de estudantes inexperientes que foram forçados a recuar sob fogo cerrado de artilharia. Um deles era um jovem e brilhante soldado e cientista, seu nome era Nicolas Leonard Sadi Carnot e a humilhação que ele sentiu pessoalmente iriam compeli-lo e motivá-lo a descobrir uma profunda visão de como todos os motores funcionam.

Carnot vinha de uma família militar muito respeitada. Depois da derrota francesa aqui e em outros lugares da Europa, ele ficou determinado a recuperar o orgulho francês. O que realmente incomodava Carnot era a superioridade tecnológica que os inimigos da França pareciam possuir, e a Inglaterra em particular tinha uma grande vantagem tanto econômica quanto militar por conta de seu domínio sobre a energia do vapor, então Carnot jurou que entenderia como os motores a vapor funcionam e usaria esse conhecimento para o benefício da França.

Ele disse de forma explícita que se pudesse tirar os motores a vapor da Inglaterra, o império britânico entraria em colapso, e escreve isso logo após uma derrota militar francesa. Ele se propõe a analisar literalmente a fonte do poder britânico ao analisar a maneira como o fogo e os motores a calor funcionam.

Análise 5: Aqui diferente da questão anteriormente analisada da necessidade de compreensão do funcionamento do cosmos motivados por uma estrutura teológica, temos uma motivação histórica voltada a uma questão política e cultural muito pessoal do personagem em questão e da característica do momento histórico corrente em seu país, seu incomodo em relação aos ataques a sua pátria o motivam a buscar conhecimento direcionado por um propósito não científico, mas sim político,

neste plano, a Ciência é motivada por outras dimensões de pensamentos e voltamos para a análise e discussão das motivações para sua construção, comenta Chassot (2009) que a Ciência nem sempre é uma fada benfazeja, sua motivação de desenvolvimento tem propósitos específicos. Carnot viu no domínio do calor peça central para alcançar seus objetivos enquanto pátria. Este episódio pode ser discutido a partir do segundo eixo estruturante que trata da natureza da Ciência, seus fatores éticos e políticos que circundam a prática da produção científica.

Transcrições para a análise 6: Vivendo com um salário de meio período com seu irmão Hippolyte em um pequeno apartamento em Paris, em 1824 Carnot escreveu algo lendário: Reflexões Sobre a Potência Motriz do Fogo, com menos de 60 páginas desenvolveu e abstraiu a maneira fundamental de como todos os motores a calor funcionam. Carnot viu que todos os motores a calor se compunham em uma fonte de calor em um ambiente mais frio, Carnot acreditava que um tipo de substância fluiria como água do quente para o frio. E assim como água caindo de certa altura, o fluxo de calor podia ser aproveitado para realizar trabalho útil. A ideia crucial de Carnot era mostrar que para fazer qualquer motor a calor ser mais eficiente, tudo que você tinha que fazer era aumentar a diferença de temperatura entre a fonte de calor e o ambiente mais frio, essa ideia que tem guiado os engenheiros por 200 anos.

Fundamentalmente, um motor de um carro é mais eficiente que um motor a vapor porque ele trabalha em uma temperatura muito mais alta. Os motores a jato são mais eficientes ainda graças as incríveis temperaturas que eles trabalham. Carnot havia revelado que os motores a calor não eram apenas uma invenção inteligente, eles estavam se utilizando de uma propriedade mais fundamental da natureza, eles estavam explorando o fluxo de energia entre quente e frio. Carnot havia enxergado a verdadeira natureza dos motores a calor, e com isso, iniciou um novo ramo da Ciência, mas ele não veria o impacto que sua ideia teria no mundo.

Análise 6: Temos aqui a compreensão de um fenômeno do cotidiano que é o fluxo de calor, esta reflexão pode ser facilmente associada ao conteúdo em questão contido nos estudos da termometria, o calor se transportando de um sistema sempre de maior temperatura para o de menor temperatura, o simples “esfriar” das coisas no meio ambiente, este simples fenômeno é passível de discussões muito elaboradas quando mediadas pelo professor, esta informação associada a ideia de Carnot de dois séculos anteriores leva a reflexão do quão simples é a análise deste fenômeno,

mas que não há explicações para o mesmo até o momento de alguém o observar a partir de outra perspectiva e com outra motivação, temos nesse caso dois eixos estruturantes se conciliando, o primeiro e o terceiro, que respectivamente reflete a compreensão dos conhecimentos e conceitos fundamentais para situações cotidianas e as relações entre Ciência e tecnologia, este último explícito por meio dos exemplos descritos.

Transcrições para a análise 7: Em 1832, uma epidemia de cólera se espalhou por Paris, foi tão severa que matou 19000 pessoas, naquele tempo não havia conhecimento científico real de como as doenças se espalhavam, então deve ter sido muito assustador esse fenômeno. Carnot apesar dos riscos decidiu estudar e documentar a propagação da doença, mas infelizmente ele a contraiu e morreu um dia depois, ele tinha apenas 36 anos. Muitos de seus preciosos estudos foram queimados para frear o avanço da doença e suas ideias caíram no esquecimento. Parece que o mundo não estava preparado para Carnot.

Análise 7: É importante refletir essa condição mencionada a partir do terceiro eixo estruturante, a partir da própria fala do apresentador que diz, não haver conhecimento científico real de como as doenças se propagavam, é possível questionamentos não somente direcionados a Física, mas a outras áreas das Ciências naturais e discutir questões relacionadas a evolução tanto das doenças quanto de seus métodos de intervenção para que não houvesse propagação, esta relação esta ligada as relações de Ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente.

Transcrições para a análise 8: Carnot fez a primeira grande contribuição para a Ciência da termodinâmica, mas à medida que o século XIX progredia o estudo do calor, movimento e energia começaram a chamar a atenção da comunidade científica, logo se percebeu que essas ideias poderiam fazer muito mais que explicar como os motores a calor funcionam. Assim como Leibniz suspeitou com sua noção de energia vital, essas ideias eram explicáveis em uma escala muito maior.

Em meados do século IXX os cientistas e engenheiros haviam medido com muita precisão como as diferentes formas de energia funcionavam. Eles mediram quanto de um tipo de particular de energia era necessário para fazer certa quantidade de outro tipo. Deixe-me dar um exemplo: “a quantidade de energia necessária para 30 ml de água aumentar sua temperatura em 1 grau centígrado é a mesma quantidade de energia necessária para elevar um peso de 12,5 kg em um metro”.

A questão é que muitas pessoas não perceberam que, apesar do trabalho mecânico e o calor parecerem muito diferentes, eles eram facetas da mesma coisa: energia. Essa ideia ficaria conhecida como a primeira lei da termodinâmica. A primeira lei revela que a energia nunca é criada ou destruída, ela apenas muda de uma forma para outra. Cientistas do século XIX perceberam que isso significa que o total de energia do universo inteiro na verdade é fixo.

Incrivelmente existe uma quantia fixa de energia que apenas mudam em diferentes formas. Então em um motor a vapor a energia não é criada, apenas mudou de calor para trabalho mecânico. Mas por mais impressionante que a primeira lei seja, ela geraria uma enorme dúvida: “o que exatamente acontece quando uma forma de energia muda para outra? Aliás porque sequer acontece?”. A resposta seria achada em parte pelo cientista alemão Rudolf Clausius, e formaria a base do que viria a ser conhecido como a segunda lei da termodinâmica.

Análise 8: Neste trecho é possível a discussão de conceitos fundamentais como mencionado a primeira lei da termodinâmica, que é a parte central do estudo do calor, o exemplo visual apresentado pelo vídeo em questão demonstra de maneira clara o processo de conversão de energia de um sistema térmico e um sistema mecânico, este tipo de demonstração é de extrema importância no ensino de Física, pois este conteúdo específico é tratado com muita ênfase para a estrutura algébrica, portanto, fazem-se necessárias certas associações e demonstrações nesse sentido. Além disso, ainda se traz dois aspectos importantes em termos de questionamentos, o primeiro a respeito da afirmação que a energia não se cria nem se perde, frase conhecida por muitos estudantes por sua utilização em outros contextos, e a segunda, o questionamento do que exatamente acontece em uma transformação de energia, com um exemplo simples é possível motivar a reflexão dos estudantes a respeito das tentativas de resposta, colocar o estudante diante de proposições simples que o levem a refletir que estes não sabem de fato as respostas torna o processo da aquisição de conhecimento mais prazeroso e motivador, sem falar de todo esse processo motivado pelo contexto histórico em questão, podendo ser trabalhado a partir do primeiro eixo estruturante, pois trata dos conceitos fundamentais e dos termos básicos para as interpretações científica dos fenômenos cotidianos.

Introdução às contribuições de Rudolf Clausius (1822-1888)

Transcrições para a análise 9: Rudolf Clausius era um brilhante estudante de Física, alemão de Pomerânia e com uma idade ridiculamente jovem torna-se um professor brilhante em Berlim e posteriormente em Zurique, na nova universidade que foi feita na Suíça na década de 1850 e 1860. Clausius ofereceu o que foi realmente a primeira análise matemática completa e coerente de como a termodinâmica funciona.

Clausius percebeu que não apenas havia uma quantidade fixa de energia no universo, como também parecia seguir uma forma muito rígida. De forma simples, energia na forma de calor sempre se movia em uma direção particular, essa sua revelação é de fato uma das ideias mais importantes de toda a Ciência, como Clausius disse: o calor não pode por si só passar de um corpo frio para um corpo quente. Essa era uma ideia muito intuitiva, se não for manipulada, esta xícara de chá quente iria sempre esfriar. O que isso significa é que o calor irá passar da xícara quente para, digamos, minha mão, e então da minha mão para o meu peito. Isso pode parecer óbvio, mas foi uma revelação crucial.

O fluxo de calor era um processo em uma direção que parecia estar escrita de maneira muito fundamental no funcionamento de todo o universo. É claro, objetos podem ficar mais quentes, mas você sempre precisa fazer algo com eles para que isso aconteça, ao deixá-los sozinhos, a energia sempre parece ir da concentração para a dispersão.

Análise 9: Nas afirmações feitas neste trecho da apresentação é retomado a ideia do fluxo de calor, ideia que já havia sido mencionado em outros momentos, a partir da visão de outros personagens da História da Ciência. A maneira como o fenômeno é descrito é de fato muito significativa para as discussões pela sua riqueza de detalhes visuais, ao concluir, o apresentador menciona que as observações de Clausius são intuitivas e de certa forma óbvias, neste momento é possível discutir com os estudantes outros fenômenos intuitivos e intrigantes, como por exemplo, o conceito de luz, mostrando-os que as reflexões científicas não estão ligadas diretamente a um nível de conhecimento formal, que os fenômenos estão a nossa volta acontecendo todo o tempo, é possível por meio desta análise, aproximar a Ciência Física do mundo cotidiano do estudante, gerando reflexão sobre Ciência e capacidade de racionalização dos fenômenos. A análise final a respeito de que para

um sistema se manter ordenado é preciso ser forçado para isso, também é rica em possibilidades de reflexão, pois intuitivamente pensamos que as coisas estão sempre organizadas e não o contrário, a visão da desorganização e desordem apresentada no documentário é contrária a nossa percepção do senso comum, fato muito importante tanto para o processo de mediação em relação ao professor na perspectiva de possibilitar o confronto entre conceitos espontâneos e científicos. Esta análise pode ser desenvolvida a partir do primeiro eixo estruturante, pois trata de conceitos científicos fundamentais para compreensão de fenômenos cotidianos.

Transcrições para a análise 10: Uma das minhas frases favoritas da Ciência foi dita pelo bioquímico Albert St. George que diz “a Ciência é feita ao ver algo que todos veem e então pensar o que ninguém pensou” e ele, Rudolf Clausius, olhou para o mundo cotidiano e viu algo que todos haviam visto, que o calor não flui espontaneamente de um corpo frio, o caminho é sempre oposto, mas ele não disse “ah, então tá bom”, ele sentou e pensou a respeito.

Análise 10: Aqui a reflexão que traz a frase dita por um cientista complementa a ideia descrita anteriormente de forma muito didática, “olhar para a realidade de uma forma diferente” pode ser expandido para contextos além do científico, estar atento à realidade que nos cerca e estar sensível a fazer reflexões sobre ela é uma importante atitude para uma nova percepção e para a mudança, seja científica, pessoal ou social. Este trecho nos dá possibilidades de trazermos à tona questões sociais, como a desigualdade, a fome, violência, corrupção e outras situações presente no mundo como, fatos de nossa realidade social que por muitas vezes já nos vemos condicionados a aceitar que as coisas são assim mesmo e que não podemos fazer nada a respeito, neste momento é possível discutir até mesmo o próprio papel da Ciência e sua utilização, como em fatos históricos, como o episódio da bomba atômica, suas intenções e utilização que nem sempre condizem ou convergem para um mesmo objetivo. Esta reflexão pode ser feita a partir do segundo eixo estruturante, que trata dos fatores que circundam a prática científica.

Transcrições para a análise 11: Clausius combinou todas essas ideias sobre como a energia é transferida e as colocou em um contexto matemático. O que Clausius introduziu foi uma nova quantia que ele chamou de entropia, que basicamente diz que quando o calor é transferido de um corpo quente para um frio a entropia sempre aumenta. A entropia parecia ser uma medida do quanto o calor se dissipa ou se

espalha, à medida que as coisas quentes esfriam, sua entropia aumenta. Para Clausius parecia que em qualquer sistema isolado esse processo seria irreversível.

Clausius confiava tanto em sua matemática que ele calculou que esse processo irreversível estava acontecendo lá fora, no amplo do cosmos. Ele especulou que a entropia do universo inteiro tinha que estar aumentando em direção ao máximo e não haveríamos nada que poderíamos fazer para evitar isso. Essa ideia ficou conhecida como segunda lei da termodinâmica e se revelou ser a mais estranha e mais bonita e universal do que qualquer coisa que Clausius pudesse ter imaginado.

A segunda lei da termodinâmica parecia dizer que todas as coisas que emitem calor estão conectadas de alguma forma, todas as coisas que emitem calor são parte de um processo irreversível que está acontecendo por toda parte, um processo de espalhamento e dispersão, um processo de entropia cada vez maior. Parecia que de alguma forma, o universo partilhava do mesmo destino de uma xícara de chá.

A coisa incrível a respeito dos cientistas vitorianos é que eles puderam fazer esses grandes saltos e puderam ver que seus estudos de um termômetro em um frasco poderiam realmente ser estendidos, poderiam ser extrapolados, podiam ser aumentado para englobar todo o universo.

Análise 11: Destacamos aqui a importância da possível reflexão a respeito da contextualização matemática, dando ênfase a sua importância posterior a compreensão do fenômeno físico e não o contrário, na tentativa de desconstruir uma visão muito reproduzida que a Física é vista como uma mera extensão da matemática pelos estudantes, que é vista como uma forma de aplicação da matemática e não como uma Ciência própria. É possível discutir sua importância e significado dentro da Física a partir do método científico, desde a observação até a generalização, quando mencionado no vídeo que Clausius expande sua análise de um sistema isolado para todo o universo, generalização característica das Ciências da natureza. Este momento pode ser abordado a partir do segundo eixo estruturante, que trata da natureza e estruturação da prática científica.

Transcrições para a análise 12: Apesar do sucesso da termodinâmica em meados do século XIX, havia muito debate e confusão sobre isso, o que exatamente era essa coisa estranha chamada entropia e porque ela sempre aumentava? A resposta a essa pergunta iria pedir um enorme salto intelectual, mas iria ao final revelar a

verdade sobre a energia e as muitas formas de ordem e desordem que vemos no universo ao nosso redor. Muitos cientistas iriam enfrentar os misteriosos conceitos da entropia, mas um mais que qualquer outro iria iluminar a verdade, ele mostraria o que a entropia realmente é e porque, com o tempo ela deve realmente aumentar. Seu nome era Ludwig Boltzmann, um dos grandes revolucionários da Ciência.

Análise 12: Neste trecho pode ser discutida a ideia da Ciência ser um fenômeno histórico e socialmente construído, pois geralmente a visão que o estudante acredita é que os cientistas simplesmente descobrem os conceitos e estes são aceitos a partir disso sem questionamentos, é importante a reflexão que é preciso muitas vezes, séculos de pesquisa feitas por diferentes pessoas para que se chegue enfim em uma interpretação aceitável, e que nem sempre a compreensão do fenômeno segue uma ordem lógica. Como descrito no vídeo, quando Clausius chega a uma ideia mais próxima do funcionamento do fenômeno, suas aplicações enquanto máquinas térmicas já existiam, assim como outros fenômenos, por exemplo, os sistemas mecânicos já existiam bem antes de Galileu e Newton os descreverem a partir do método científico e que é preciso de inúmeros personagens para se chegar a uma interpretação aceitável. Este fato pode ser organizado a partir do segundo eixo estruturante, pois trata do caráter humano e social inerente a investigação científica.

Introdução às contribuições de Ludwig Boltzmann (1844-1906)

Transcrições para a análise 13: Boltzmann nasceu em Viena em 1844 em um mundo de certezas científicas e culturais, mas Boltzmann mal tomou conhecimento das crenças arraigadas pelos seus contemporâneos, para ele o mundo físico era algo que era mais bem explorado com a mente aberta. Boltzmann não era o estereótipo de cientista, na verdade ele tinha o tipo de temperamento que as pessoas costumam associar com os grandes artistas, ele era impiedosamente lógico e analítico, mas enquanto trabalhava, ele passaria por períodos de terríveis depressões que o deixariam incapaz de pensar claramente por completo.

Ele tinha crises mentais e colapsos nos quais ele realmente achava que o mundo estava se desfazendo e, no entanto eram também acompanhadas de algumas ideias mais profundas sobre a natureza de nosso mundo.

Fora da matemática, Boltzmann era apaixonado por música e era cativado pelas grandes e dramáticas óperas de Wagner e a emoção crua de Beethoven. Ele era um brilhante pianista e podia se perder por horas nos trabalhos de seus compositores preferidos assim como se perdia em profundas teorias matemáticas. Boltzmann era um cientista guiado por emoção e instinto, mas também por sua crença na habilidade matemática de revelar os segredos da natureza. Foi um desses traços que o levariam a se tornar um dos defensores de uma nova e chocante teoria, uma que viria a descrever a realidade nas menores escalas, muito menor que qualquer outra coisa que se via a olho nu.

Análise 13: A introdução ao personagem Boltzmann traz uma interessante afirmação passível de reflexão e desconstrução, ao se afirmar que Boltzmann não tinha o estereótipo de cientista e sim uma personalidade mais voltada para um artista, percebemos aqui este fato sendo tratado a partir de estereótipos distintos e excludentes, o que nos leva a entender que Ciência e arte são atividades que necessitam de personalidades específicas para serem escolhidas como função ou profissão e que Boltzmann não estar dentro deste estereótipo de certa forma o torna “especial” ou “estranho” ou até mesmo que isso possa ter influenciado em sua contribuição científica. Temos aqui o determinismo característico ainda na visão de muitos professores das Ciências da natureza, que as entendem como isolada de outras formas de conhecimento e expressão. Este processo é passível de discussão a partir do segundo eixo estruturante, por tratar do caráter humano da produção científica.

Transcrições para a análise 14: Em meados do século XIX, um pequeno grupo de cientistas começou a especular que, nas menores escalas, o universo pode operar de maneira diferente de nossas experiências cotidianas. Se você olhar realmente de perto, parecia possível que o universo era feito de minúsculas partículas sólidas em constante movimento, visto em termos de átomo, o calor de repente se tornara um conceito menos misterioso. Boltzmann e outros viram que se um objeto estava quente significava simplesmente que seus átomos estariam se movendo mais rapidamente. Ver o mundo como átomos parecia ser uma ideia extremamente poderosa, mas essa imagem do universo tinha um problema aparentemente intransponível.

Como poderia estudar sequer um pequeno volume de gás se ele era composto de trilhões de átomos? Como poderíamos inventar questões matemáticas

para descrever tudo isso? Afinal, a quantidade de átomos é muito grande e estão constantemente se chocando, mudando de velocidade e direção. Parecia ser um problema quase impossível, mas então Boltzmann viu um caminho, ele viu mais claramente que qualquer outro que para a Física explicar essa nova camada da realidade ela deveria abandonar a certeza. Ao invés de entender e medir os movimentos exatos de cada átomo individual, Boltzmann viu que se podiam criar teorias funcionais simplesmente usando a probabilidade que átomos estariam viajando a certa velocidade e certas direções.

Boltzmann havia se transportado para dentro da matéria. Ele imaginou um mundo abaixo da nossa realidade cotidiana e achou a matemática para descrevê-lo. Seria aqui, nessa escala, que Boltzmann conseguiria um dia revelar o segredo mais profundo da energia, apesar da hostilidade geral à suas teorias.

As ideias de Boltzmann foram muitíssimas controversas e você precisa lembrar que hoje tomamos o átomo como verdade, mas a razão pela qual tomamos por verdade esta ideia é precisamente por conta de que a matemática de Boltzmann casou com os experimentos feitos a respeito de tal tema.

Muitos contemporâneos de Boltzmann viram suas ideias sobre átomos com intensa hostilidade. Hoje a existência de átomos, a ideia de que toda matéria é composta de minúsculas partículas é algo que aceitamos sem questionamento, mas na época de Boltzmann havia físicos que simplesmente não acreditavam nisso, e porque deveriam? Ninguém havia visto um átomo e provavelmente nunca veriam, como poderiam essas partículas serem consideradas reais? Após uma de suas sobre a teoria atômica em Viena, o grande físico austríaco Ernest Mach levantou e disse “eu não acredito que átomos existam”, foi incisivo e desdenhoso, e um comentário destes vindo de um cientista tão respeitado como Ernest Mach deve ter sido doloroso para Boltzmann.

Eles diziam “átomos não existem, eles são nomes, rótulos, convenientes ficções, dispositivos de cálculo, eles não existem de fato, nunca ninguém viu, e por esta razão, diziam os críticos de Boltzmann, ele era um fantasista”, mas Boltzmann estava certo e havia penetrado na realidade mais longe do que qualquer outro havia ousado, e viu um universo que podia ser construído a partir da hipótese atômica e entendido pela matemática da probabilidade. As fundações e certezas da Ciência do século XIX estavam começando a ruir.

Análise 14: Neste contexto é possível novamente refletir a Ciência como construção a partir do segundo eixo estruturante, os questionamentos e dúvidas em relação às teorias científicas antes de serem de fato aceitas e a importância da matemática neste processo de comprovação, ao se dizer que se a teoria atômica é aceita como verdadeira hoje é pelo fato da matemática que a descreveu ter tido harmonia com os experimentos apresentados, mostra a importância da linguagem matemática na descrição dos fenômenos físicos, assim como sua importância como linguagem. É importante a reflexão em relação à construção, como mencionado no vídeo a respeito dos átomos, é possível lançar aos estudantes este mesmo questionamento e associá-las a outros contextos, tanto científicos quanto sociais. Aceitamos a ideia do átomo sem nunca termos visto um então o que mais em nossa percepção de mundo aceitamos como verdade sem vermos ou de fato compreendê-los?

O vídeo mostra o processo do questionamento do conhecimento científico em construção, com a descrição dos questionamentos feitos a Boltzmann enquanto apresentava sua teoria, portanto sendo de grande significado este processo para a desconstrução da Ciência como verdade absoluta e inquestionável, assim como refletir que a realidade existe além da realidade palpável e dos nossos olhos, fato que nos leva a reflexão do ser humano como ser limitado e que a percepção de mundo que temos é uma interpretação construída e socialmente aceita a partir de nossa percepção, mas que pode e existe uma realidade que ainda está além de nossa compreensão.

Transcrições para a análise 15: Mas à medida que Boltzmann via esse admirável mundo novo de átomos também começou a perceber que sua nova visão de universo continua dentro de si, uma explicação para um dos grandes mistérios do universo. Boltzmann viu que os átomos poderiam revelar porque a segunda lei da termodinâmica era verdadeira, porque a natureza estava presa em um processo irreversível e porque ela sempre aumenta. Ele entendeu que todos os objetos são feitos de constituintes muito menores, basicamente tudo que vemos é feito de uma construção de trilhões e trilhões de átomos e moléculas e isso era a chave para a sua ideia sobre a entropia e a segunda lei da termodinâmica.

Boltzmann viu o que Clausius não pode: a real razão pela qual um objeto quente em repouso sempre esfria. Imagine um pedaço de metal quente, os átomos dentro dele estão vibrando, os da borda do objeto transferem parte da sua energia para os átomos na superfície da mesa, esses átomos batem em seus vizinhos e

dessa forma, a energia do calor lentamente e naturalmente se espalha e se dispersa. O sistema inteiro foi de um estado ordenado, com toda a energia concentrada em um lugar, para um sistema desordenado, onde a quantidade de energia está distribuída entre muitos mais átomos. A mente brilhante de Boltzmann viu que esse processo podia ser descrito matematicamente.

Análise 15: A descrição do comportamento do fluxo calórico pode servir como instrumento para o estudo dos conceitos de temperatura e calor, pois a apresentação mostra de forma muito bem elaborada tanto na explicação quanto na estrutura visual os fenômenos ocorrendo, fazendo associações a fenômenos do cotidiano onde podem ser vistos tais sistemas, esta estrutura pode ter grande potencial para a discussão e análise em aulas relacionadas ao tema, visto a abstração que envolve o conceito de temperatura, calor e as próprias leis da termodinâmica. Esta possibilidade pode ser vista a partir do primeiro eixo estruturante, pois compreende os conceitos científicos básicos para a compreensão da realidade.

Transcrições para a análise 16: A grande contribuição de Boltzmann é a de que ainda que possamos falar em termos relativamente casuais, sobre as coisas ficando piores e a desordem aumentando, a grande contribuição foi que pode colocar isso em números, ele foi capaz de derivar uma fórmula que nos permite calcular a desordem de um sistema.

A equação de Boltzmann é sua contribuição dourada para a Ciência, de forma que foi gravada em sua lápide em Viena, ela significa essencialmente que existem muito mais maneiras de coisas serem desorganizadas e bagunças do que existe delas serem arrumadas e organizadas, é por isso que, deixado por conta própria, o universo sempre ficará mais desordenado. As coisas vão da ordem para a desordem, é uma lei que se aplica a tudo, de uma jarra caindo no chão a uma xícara de chá quente aos produtos que consumimos todo dia. Tudo isso é uma expressão da tendência do universo a se mover da ordem para a desordem. A desordem é o destino de tudo.

Clausius mostrou que algo a que chamou de entropia estava aumentando o tempo todo, agora Boltzmann havia revelado o que isso realmente significava: entropia era, na verdade, uma medida da desordem das coisas. A energia está se esvaindo, esta se esvaindo agora mesmo, então a segunda lei da termodinâmica é

sobre a entropia aumentando, é só uma forma técnica de dizer que as coisas estão ficando piores.

Análise 16: Dentro desse contexto é possível discutirmos a segunda lei da termodinâmica de maneira conceitual e contextualizada, pois na maioria dos casos ela é apresentada apenas em forma de equação pelos livros didáticos, e como sua descrição e análise envolve outros conceitos físicos, geralmente está exige certo nível de abstração dentro do contexto do conteúdo, a explicação dada acima nos mostra uma maneira simples de compreender esse processo, a ideia da desorganização de sistema que contem energia vista dessa forma é bem, mas palpável do que concluir isso a partir de uma análise algébrica por meio de uma equação. Por termos uma descrição conceitual e contextualizada essa abordagem, assim como a anterior, se organiza dentro do primeiro eixo estruturante.

Transcrições para a análise 17: A paixão e sensibilidade romântica de Boltzmann e sua crença no poder da matemática o levaram a uma das mais importantes descobertas da História da Ciência, mas essas mesmas intensas emoções também tinham seu lado autodestrutivo. Por toda sua vida Boltzmann era propenso a severas crises de depressão, às vezes motivadas pela crítica a suas teorias, outras simplesmente aconteciam. Em 1906 ele foi forçado a tirar folga de seus estudos em Viena durante uma crise particularmente grave.

Em setembro de 1906 Boltzmann e sua família estavam de férias em Duino, perto de Trieste, na Itália, e enquanto sua esposa e família estavam na praia, Boltzmann se enforcou, trazendo a sua curta estadia em nosso universo um abrupto fim. Talvez o aspecto mais triste da história de Boltzmann é de que, em poucos anos após a sua morte, suas ideias que haviam sido atacadas e ridicularizadas durante a sua vida foram finalmente aceitas. Mas ainda, elas viraram a se tornar a nova ortodoxia da Ciência.

No fim, não há escapatória da entropia, é o movimento definitivo da ordem para a desordem que governa a todos nós. As equações de Boltzmann contem em si a imortalidade de tudo, de uma jarra de porcelana, a vida humana, ao próprio universo. O processo de mudança e degradação é inevitável. A segunda lei da termodinâmica diz que o próprio universo deve um dia atingir um estado máximo na entropia, máxima desordem, e o universo inteiro deve um dia morrer.

Se tudo se degrada, se tudo se torna desordenado você pode estar se perguntando como nós existimos? Como o universo consegue criar a incrível

complexidade e estrutura da vida na terra? Ao contrário do que você pode achar, é precisamente por conta da segunda lei da termodinâmica que tudo existe, o grande desordenamento do cosmos criou a sua complexidade. É possível aproveitar o fluxo natural da ordem para a desordem, drenar o processo e gerar algo novo, criar nova estrutura. É algo que os primeiros pioneiros do vapor, sem saber, fizeram com seus motores, e é algo que faz tudo aquilo que consideramos especial em nosso mundo, de carros a prédio a obras de arte, até a própria vida.

O motor do meu carro, como todos os motores, é projetado para explorar a segunda lei da termodinâmica, ele começa com algo bonito e ordenado como essa gasolina recheada de energia, mas quando é incinerada no motor ela se transforma desse líquido compacto em uma mistura de gases com volume duas mil vezes maior, se contar a quantidade de calor e som que joga no ambiente, ele está transformando ordem em desordem. O que é espetacularmente inteligente no meu carro é que ele consegue aproveitar toda essa energia em dissipação, ele consegue colher uma pequena parte dela e usá-la para impulsionar um processo mais ordenado, como movimentar pistões que movimentam as rodas, é isso que os motores fazem, eles drenam o fluxo de ordem para a desordem, fazem algo útil, e não só nos carros. A evolução projetou nossos corpos para trabalhar seguindo o mesmo princípio, se eu comer esta barra de chocolate recheada de energia ordenada, meu corpo a processa e a transforma em energia mais desordenada, mas tira para si energia para funcionar. Tanto carros quanto humanos se movem do aproveitarem o fluxo cósmico da ordem para a desordem.

Ainda que o mundo esteja se desfazendo em desordem, ele está fazendo de uma maneira interessante. É como uma cachoeira que está caindo, mas essa queda joga para cima um spray de estrutura e esse spray pode ser você, eu, um narciso, ou qualquer outra coisa, então você vê que no desenrolar do universo, esse colapso para a desordem, pode de fato ser construtivo.

Motores a vapor, estações de energia, a vida na terra, todas essas coisas se utilizam do fluxo cósmico da ordem para a desordem, a razão pela qual a terra é como ela é hoje é porque aprendemos a usar essa energia desintegrante para manter e melhorar nosso pequeno bolsão de ordem, mas a medida que a humanidade evoluiu tivemos que achar novas fontes de energia concentrada para podermos desmembrar e impulsionar a cada vez mais a exigente construção de nossas tecnologias, nossas cidades e nossa sociedade. Da comida, para a madeira,

para os combustíveis fósseis na história da humanidade nós descobrimos cada vez mais concentradas formas de energia que quebramos para florescer. Agora no século XXI estamos à beira de utilizar a forma suprema de energia concentrada, a coisa que impulsiona o sol: hidrogênio.

Análise 17: Na descrição feita a partir do motor do carro é possível percebermos o processo descrito pela segunda lei da termodinâmica de maneira clara e precisa, a utilização de sistemas cotidianos para explicação de conceitos científicos que envolvem certa complexidade e abstração é um recurso muito comum e de grande significado para o ensino de Física, dentro dessa proposta, no vídeo podemos perceber essa explicação e o diálogo a partir do motor de um carro e como este utiliza a energia, dentro desse processo é possível compreender a estrutura descrita como “ordem e desordem” mencionado durante todo o vídeo e ter uma percepção prática da aplicação Física no cotidiano, assim como sua importância na descrição e compreensão dos fenômenos da natureza que nos cercam. Aqui ainda temos novamente uma estrutura com potencial de ser abordada a partir do primeiro eixo estruturante.

Transcrições para a análise 18: Esse é o centro Cullham para energia de fusão, em Oxford e aqui nesta instalação estão tentando recriar uma estrela na terra, mas como você pode imaginar criar e conter uma pequena estrela não é um processo fácil, são preciso centenas de pessoas e tecnologias extremamente engenhosas. Essa máquina é chamada tokamak e é projetada para extrair um tipo antigo de energia altamente concentrada, a energia ordenada dos átomos de hidrogênio. Esses pequenos pacotes de energia foram criados no universo primordial, apenas três minutos após o momento da criação. Agora usando o tokamak, podemos extrair a energia concentrada contida nesses átomos ao fundi-los.

Dentro do tokamak dois tipos de átomos de deutério e trítio são misturados em um estado super quente chamado plasma, em funcionamento, esse plasma pode atingir a incrível temperatura de 150 milhões de graus, enormes imãs nas paredes do tokamak contem plasma e o impede de trocar as laterais onde ela esfriaria. Quando ele fica quente o suficiente os dois tipos de átomos de hidrogênio se fundem para formar o hélio e cospem um nêutron, esses nêutrons voam para fora do plasma e batem nas paredes do tokamak, mas eles carregam energia, e se espera que essa energia possa um dia ser utilizada para aquecer água, transformá-la em vapor para movimentar uma turbina e gerar eletricidade. Essencialmente, por

um breve momento no tokamak uma pequena estrela na forma de um donut é criada. O problema é que é extremamente difícil de manter a reação de fusão bastante tempo para se aproveitar energia dela e é isso que os cientistas em Cullham estão trabalhando para melhorar.

É a fronteira entre a Física e a engenharia. Como podemos manter essa coisa superaquecida que é o plasma e como podemos melhorar a performance desse plasma que as partículas fique lá dentro o suficiente para aumentar a chance de baterem uma nas outras? Estamos tentando levar até o limite com o que temos disponível nessa máquina e o que pudermos aprender para entender melhor o plasma nos permitirá projetar uma máquina melhor no futuro. Ainda que aconteça várias vezes no dia, o que a tokamak está fazendo é a mineração das férteis cinzas do *Big Bang* altamente concentrada capturada no início dos tempos, como o hidrogênio é o elemento mais abundante do universo, se máquinas futuras puderam sustentar reações de fusão, elas nos oferecerão a possibilidade energia quase ilimitada.

Para uma Ciência que começou como subproduto das questões sobre motores a vapor, a termodinâmica teve um impacto desconcertante sobre nossas vidas. Ela nos mostrou porque precisamos consumir formas concentradas de energia para ficarmos vivos e nos revelou como o próprio universo deve acabar. Olhar para a terra á noite revela o quanto uma ideia aparentemente simples transformou o planeta.

Nos últimos 300 anos, nós desenvolvemos formas cada vez mais engenhosas de aproveitar a energia concentrada do mundo ao nosso redor, mas nossos esforços e conquistas são deveras insignificantes quando visto da perspectiva do vasto universo. Deste ponto de vista, tudo que estamos tentando fazer é preservar nosso minúsculo bolsão de ordem em um cosmos que está se esfacelando. Ainda que não possamos escapar de nosso destino final as leis da Física nos permitem esse breve, lindo momento criativo no grande desenrolar cósmico. É a minha esperança que ao entendermos o universo cada vez mais possamos estender esse momento por milhões, talvez até bilhões de anos.

Análise 18: O encerramento do vídeo mostra as pesquisas atuais em relação aos sistemas envolvendo novas formas de energia e as tentativas de convertê-la em trabalhos úteis a sociedade, é de grande importância este momento para discussão, pois não apenas apresenta um caráter histórico à Ciência, mas mostra seu

desenvolvimento hoje, as pesquisas executadas neste momento histórico ainda sobre o mesmo tema discutido por muitos nos séculos anteriores, é importante mostrar e dialogar com os estudantes a esse respeito, pois enfatiza a construção da Ciência como algo inacabado, que o mundo científico está girando em busca de respostas para questões contemporâneas ou não, levar o estudante a esse tipo de reflexão mostra-o que a Ciência não é feita apenas de gênios e sim de grupos de pessoas com habilidades e domínios completamente diferentes e que se constrói de forma coletiva de acordo com os interesses que a cercam, mostrando assim e enfatizando como feito ao longo de todo o processo do vídeo, que a Ciência é um empreendimento humano socialmente construído. O desfecho do vídeo pode ser interpretado a partir do segundo eixo estruturante e associado a outras partes já discutidas antes, pois apresenta um contraste bem interessante entre as questões temporais, tecnológicas e sociais que envolvem o desenvolvimento científico neste ramo específico da pesquisa.

CONCLUSÃO

A Física enquanto saber escolar ainda é vista como difícil e de pouca utilidade no cotidiano dos estudantes, uma ideia de que seu domínio é para poucos ou que é um conhecimento sem importância ainda permeia a visão dos estudantes a seu respeito. Por esse motivo, é importante que haja possibilidades de mostrar esse conhecimento de uma forma diferente da apresentada pelos livros didáticos, que ainda valorizam muito o conhecimento matemático das aplicações Físicas e pouco as discussões conceituais que a compõem. O mundo físico apresentado pelos livros didáticos mostra um mundo de verdades absolutas e inquestionáveis que ganham esse *status* pelas comprovações matemáticas.

A utilização de recursos como vídeos, músicas e atividades experimentais, que fogem da aula expositiva geralmente tem boa receptividade pelos estudantes, pois possibilitam a apreensão do conhecimento de forma diferente do que estão habituados a receber, como por exemplo, pelos livros didáticos, que pela análise feita mostrou ser uma estrutura que preza pela reprodução de conceitos e aplicação matemática, que para o ensino de Física se caracteriza como uma estrutura de matematização do conhecimento conceitual, distanciando-se da característica da Física como linguagem útil para a compreensão de uma realidade social, científica e tecnológica. Portanto, faz-se necessário, dentro da realidade da escola e de sua estrutura, assim como pela reflexão do professor, a busca para desenvolver um ensino mais dinâmico, a partir de contextos mais próximos da realidade destes estudantes, visto que estão inseridos numa sociedade imersa em diferentes tecnologias, utilizá-las como recurso é um fator que podem vir a contribuir com a prática do ensino de Física.

Diante da análise concluímos que a pesquisa alcança seu objetivo de apresentar uma possibilidade para a alfabetização científica, a partir de um recurso didático que tem como característica principal a ênfase na valorização do conteúdo a partir dos aspectos históricos e sociais que envolvem o desenvolvimento do conhecimento científico, partindo da temática das máquinas térmicas. Pudemos perceber ainda que o recurso analisado pode trazer contribuições tanto em termos dos conteúdos de Física que circundam o conteúdo máquinas térmicas, como conceitos de calor, temperatura, propagação do calor, leis da termodinâmica, fluxo calórico e outros, assim como, aspectos da evolução da Ciência como

empreendimento humano, socialmente construído e as relações existentes entre esta a tecnologia e a sociedade, fatores integrantes dos eixos estruturantes para a promoção da alfabetização científica.

A pesquisa tem como contribuição uma análise sobre um recurso de livre acesso que pode ser utilizado em sala de aula para uma discussão mais elaborada a respeito de temas diversos relacionados ao ensino de Física e ainda contribuir com o processo da alfabetização científica, que como mencionado nos capítulos anteriores, vem se tornando um dos temas de relevância nas pesquisas voltadas às questões relacionadas a práticas de ensino. A pesquisa pode ser expandida para outras áreas de conhecimento científico, seja da natureza ou social, pois os recursos de vídeo, no formato de documentário, como foi o caso analisado, estão disponíveis abrangendo diversas áreas do conhecimento, e uma vez que se tenha a referência dos eixos estruturantes para comparação e análise é possível essa ideia para outros campos de atuação buscando até mesmo interação entre campos de conhecimento que contribuam com a prática docente que tenha como objetivo a alfabetização científica.

Vislumbramos a partir desta proposta, possibilitar a alfabetização científica a partir de um ensino de Física com um caráter mais humano, apresentado a partir de uma visão de Ciência que se constrói por muitos e não só pelos personagens principais apresentados pelos livros didáticos, recurso que pudemos verificar que está mais direcionado a um ensino da Física voltado para a memorização e reprodução de exercícios algébricos que pouco tem relação com a realidade prática dos estudantes. Portanto reiteramos que a pesquisa enquanto proposta para a alfabetização científica, a partir do conteúdo máquinas térmicas, pode contribuir para um ensino de Física menos abstrato, mais humanizado e crítico.

REFERÊNCIAS

- ACEVEDO, J. A. et. al. Mitos da didática das Ciências acerca dos motivos para incluir a natureza da Ciência no ensino das Ciências. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 1, p. 1-15, 2005.
- ALLCHIN, D. Values in science: na educational perspective. **Science & Education**, n.8, p. 1-12, 1999.
- ALVARENGA, B. **Física - Ensino Médio**. São Paulo: Scipione, 2007. v.2.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS GRADUAÇÃO E PESQUISA EM EDUCAÇÃO. **Não a BNCC**. Disponível em: < <http://www.anped.org.br/news/entidades-se-posicionam-contrarias-padronizacao-e-controle-impostos-pelo-programa-de-residencia>> Acesso em: 25 Mar. 2019.
- BARDIN, L, **Análise do conteúdo**. Trad. Luis Antero Reto e Augusto Pinheiro. São Paulo, Edições 70, 2011.
- BBC. **Ordem e Desordem: A História da Energia**. 2012. (59min 18seg) Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=D8BOEXtiyzI>> acesso em 30/04/2019.
- BOGDAN, R.; BIKLEN, S. **Investigação qualitativa em educação**. Porto: Porto Editora, 1994.
- BONJORNO, R. **Física 2**. São Paulo: FDT, 2016. v.2.
- BRASIL. LDB: **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional**: Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996, que estabelece as diretrizes e bases da educação nacional, 9ª ed. Brasília: Câmara dos Deputados. Edições Câmara. 2014.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais + (PCN+) - Ciências da Natureza e suas Tecnologias**. Brasília: MEC. 2002.
- CAPECCHI, M.C.M.; CARVALHO A.M.P. Atividades de laboratório como instrumentos para a abordagem de aspecto da cultura científica em sala de aula. **Por-Posições**, v. 17, n. 1 (49), p. 137-153, 2006.
- CARVALHO, Ana Maria Pessoa de. *et al.* **Ensino de Física**. São Paulo: Cengage Learning, p.176, 2010. (Coleção Ideias em Ação, V. 1)
- CHASSOT, Attico. **Alfabetização científica: questões e desafios para educação** - 6.ed - ijuí: ed. Unijuí, p.368, 2014.
- CHEVALLARD, Y. **La transposition didactique: du savoir savant au savoir enseigné**. Grenoble: La Pensée Sauvage, 1991.
- DUARTE M. S.; SCHWARTZ L. B.; SILVA A. M. T. B.; REZENDE F. Perspectivas para além da Racionalidade Técnica na Formação de Professores das Ciências. In:

ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 7., 2009, Florianópolis. **Anais...** Belo Horizonte: ABRAPEC, 2009.

FRANCO JR., Hilário e ANDRADE FILHO, Ruy de O. **Atlas de história geral**. São Paulo, Scipione, p. 60,1993.

FREIRE, Regina Maria Ayres de Camargo; POLLONIO, Cláudia Fernanda; SILVA, Gisele Gouvêa; CASTELLANO, Giuliana Bonucci. **A Transcrição na Clínica Fonoaudiológica**. Mesa Redonda: 8º Congresso Internacional da ISAPL, Porto Alegre-RS, 2007.

FREIRE. P.; SHOR. I. **Medo e Ousadia: O cotidiano do professor**. 13. Ed. São Paulo: Paz e Terra, 2011.

FREITAS, M. T. A. **A Escrita de adolescentes na Internet**. Psicologia Clínica, v. 12 n.2, p.171-188, 2002.

FURIÓ, C., VILCHES, A.; GUIASOLA, J.; ROMO, V. Finalidades de la enseñanza de las ciencias en la secundaria obligatoria. Alfabetización científica o preparación propedéutica? **Enseñanza de las Ciencias**, V. 19 (3), 2001.

GARCIA, C. M. **Formação de professores: para uma mudança educativa**. Porto: Porto Editora, 1999.

GASPAR, A. **Compreendendo a física: ensino médio**. São Paulo: Ática, 2011.v.2.

GASPAR, A; MONTEIRO, I. **Atividades experimentais de demonstrações em sala de aula: uma análise segundo o referencial da teoria de Vygotsky**, IENCI, Agosto de 2009, v. 10, n. 2, pg. 161 – 178.

GOUVÊA, G. Currículo, Livro Didático e Ensino de Física. **Anais** do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física - EPEF, Curitiba-PR, 2008.

HOBBSAWM, E. J. **Da Revolução Industrial Inglesa ao Imperialismo**. 6ª Ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, p.349, 2013.

KEMP, Andrew C. **Science Educator's Views on the Goal of Scientific Literacy for All: An Interpretive Review of the Literature**. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching. New Orleans, LA. Abril, 2002.

LEMKE, J. L. Investigar para el futuro de la educación científica: nuevas formas de aprender, nuevas formas de vivir. **Enseñanza de Las Ciencias**. Barcelona, V 24(1), pp. 5-12, mar, 2006.

LURIA, A. R. **Desenvolvimento cognitivo: seus fundamentos sociais e culturais**. São Paulo: Ícone Editora, 1983.

MARTINS, R. A. Que tipo de História da Ciência esperamos ter nas próximas décadas?. **Episteme**, Porto Alegre, n. 10, p. 39-56, jan/jun. 2000.

MATTHEWS, M. R. (1995). História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Ciências**, v. 12, n. 3, dez., p. 164-214, 1995.

MONTEIRO, Isabel C. de Castro. **As atividades experimentais de demonstração em sala de aula – Uma análise segundo o referencial da teoria de Vigotski**. Bauru, 2006. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) – Faculdade de Ciências, UNESP.

MORAES, J. U. P. O livro didático de física e o ensino de física: suas relações e origens. **Scientia Plena**, v. 7, n. 9, 2011.

MOREIRA, M. A. Ensino de Física no Brasil: retrospectivas e perspectivas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 22, n.1, p. 94-99, mar. 2000.

PIETROCOLA, M.A matemática como estruturante do conhecimento físico. **Caderno brasileiro de ensino de Física**, v. 19, n. 1 : p. 88-108, ago. 2007.

PUGLIESE, R. M.; A história da Física e a Física escolar: incoerências entre a Ciência e o ensino. **Khronos, Revista de História da Ciência**, nº4, p. 32-44. 2017.

RAMALHO, F. **Os Fundamentos da Física**. São Paulo: Moderna, 2012.v.2.

ROSA, C.T.W. ; ROSA, A.B. A Teoria histórico-cultural e o ensino de Física. **Revista Iberoamericana de Educacion**, México, V. 34, n.03, Mar.2004.

ROSA, K.; MARTINS, M. C. O que é Alfabetização Científica, afinal? IN: Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2007. Bahia. **Anais**. Ciência Mão, 2007.

SABKA, D. R. ; LIMA JUNIOR, P. R. ; PEREIRA, A. P. **Uma Abordagem CTS das Máquinas Térmicas na Revolução Industrial Utilizando o RPG como Recurso Didático**. 2016. (Desenvolvimento de material didático ou instrucional - Educacional).

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Alfabetização Científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**. 2011.

SASSERON, Lúcia Helena. **Alfabetização Científica no Ensino Fundamental: Estrutura e Indicadores deste processo em sala de aula**. Tese (Doutorado em Educação). São Paulo. Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, 2008.

SCHENBERG, M. História e Filosofia da Ciência. Simpósio sobre Filosofia da Ciência, São Carlos, **Anais**, n. 12, São Paulo, 1979.

SILVA, E. N. da; TEIXEIRA, R. R. P. **A História da Ciência nos Livros Didáticos Um Estudo Crítico sobre o Ensino de Física pautado nos Livros Didáticos e o uso da História da Ciência**. In: XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF 2009 – Vitória, ES.

SLONSKI, G. T.; ROCHA, A. L. F.; MAESTRELLI, S. R. P. A racionalidade técnica na ação pedagógica do professor. In: Encontro Nacional de Pesquisadores em Educação em Ciências (ENPEC), 11, 2017, Florianópolis. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (ABRAPEC), 2017.

VYGOTSKY, L. S. **A construção do pensamento e da linguagem**. Tradução de Paulo Bezerra. São Paulo: Martins Fontes, 2001.