



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO
GRANDE DO NORTE

CAMPUS NATAL – CENTRAL / DIRETORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO

MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Dissertação de Mestrado

**ESTUDO DA TERMODINÂMICA NO ENSINO MÉDIO ATRAVÉS DA
CONSTRUÇÃO E USO DE UM MOTOR STIRLING ARTESANAL**

Por

Henrique Alexandre do Nascimento

Natal

2020

ESTUDO DA TERMODINÂMICA NO ENSINO MÉDIO ATRAVÉS DA CONSTRUÇÃO E USO DE UM MOTOR STIRLING ARTESANAL

Henrique Alexandre do Nascimento

Orientador: **Prof. Dr. Edemerson Solano Batista de Morais**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Ensino de Física, no Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de **Mestre em Ensino de Física**.

Natal

2020

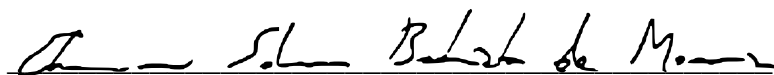
ESTUDO DA TERMODINÂMICA NO ENSINO MÉDIO ATRAVÉS DA CONSTRUÇÃO E USO DE UM MOTOR STIRLING ARTESANAL

Henrique Alexandre do Nascimento

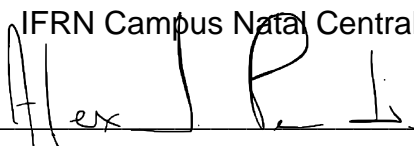
Orientador: **Prof. Dr. Edemerson Solano Batista de Moraes**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Ensino de Física, no Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de **Mestre em Ensino de Física**.

Aprovada por:



Prof. D. Sc, Prof. Dr. Edemerson Solano Batista de Moraes
Presidente/Orientador
IFRN Campus Natal Central



Prof. D. Sc, Alexsandro Pereira Lima
Examinador Externo
UFRN



Prof. D. Sc, Calistrato Soares da Câmara Neto
Examinador Interno
IFRN Campus Natal-Central

Natal, RN

Dezembro de 2020

Esta página é reservada para a ficha catalográfica. Deve ser inserida tal como foi repassada pelo bibliotecário. Não deve conter a indicação de “ficha catalográfica” no topo da página.

À minha mãe, minha esposa e meus filhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, Pai misericordioso, por estar sempre presente em minha vida, me mostrando caminhos que levam ao merecido êxito.

À minha mãe, Anaiza Macêdo, que sempre me incentivou a estudar, sempre me apoiando. Sempre sendo, ao seu modo, minha maior incentivadora para os estudos.

À minha esposa Vitória e meus filhos, Luiz Henrique e Francisco Lucas, que sempre me apoiaram em todos os momentos, sempre sendo uma fonte de inspiração e suporte em todos os momentos. Hoje, estou devolvendo a eles, com muita alegria, os momentos que muitas vezes não pudemos viver juntos devido às atividades que o mestrado requisitava, mas que vocês nunca reclamaram, pois sabiam que era para meu crescimento profissional. Obrigado por tudo!

Ao meu compadre Sebastião Gilton, comadre Ângela, Flavinha, Aninha e Paulinho, que considero como sendo minha família, pelo apoio incondicional, por sempre estarem disponíveis a me ajudar ao longo deste curso;

Ao meu orientador, Edemerson, pela sua presteza, dedicação e paciência.

Aos professores do MNPEF Polo 10 IFRN Campus Central, pela forma como nos foi transmitido o conhecimento, sendo sempre incentivadores durante todo o mestrado.

Aos colegas do MNPEF, Adeilton, André, Diego, Joelma, Nathália, Tázia e Túlio, pelas horas de estudo e pela paciência em me ajudar sempre que solicitei.

Aos meus amigos e colegas de IFPB, que sempre me incentivaram durante este mestrado.

Ao todos os meu mais sincero MUITO OBRIGADO!!!!

“Só quando o próprio aluno tiver realizado uma experiência, feito as suas observações, e avançado conclusões sem saber a resposta de antemão, será capaz de perceber o que é a ciência”

- Helen Pilstrom -

Resumo

O uso de demonstrações e práticas experimentais como ferramenta no ensino de física tem se tornado cada vez mais presente nas salas de aula. Nesse trabalho, apresentamos uma proposta de construção e discussão do funcionamento de um motor *Stirling* artesanal, a fim de utilizar essa discussão como organizador prévio para o desenvolvimento de conceitos de Termodinâmica para os alunos do Ensino Médio.

Esta proposta consiste em um produto educacional composto por um manual para montagem de um motor *Stirling* artesanal, adicionado a uma cartilha com os conteúdos de Termodinâmica para o Ensino Médio.

O produto educacional a que se refere essa dissertação baseia-se na atividade experimental, onde os alunos, atuando como protagonistas no processo ensino-aprendizagem, constroem seus conceitos a partir da manipulação do motor *Stirling* artesanal por eles construído.

Palavras-chave: Ensino de Física; Termodinâmica; organizador prévio; Motor *Stirling*

Abstract

The use of demonstrations and experimental practices as a tool in the teaching of physics has become increasingly present in classrooms. In this work, we present a proposal to build and discuss the operation of a handmade Stirling engine, in order to use such discussion as a previous organizer for the development of Thermodynamics concepts for high school students.

This proposal consists of an educational product composed of a manual for the assembly of a handmade Stirling engine added to a booklet with the contents of Thermodynamics for the secondary education.

The educational product to which this dissertation refers is based on the experimental activity, where the students, acting as protagonists in the teaching-learning process, construct their concepts from the manipulation of the handmade Stirling engine built by themselves.

Keywords: Physics Teaching; Thermodynamics; previous organizer; Stirling Engine

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Experimentos abordando conceitos de termodinâmica	33
FIGURA 2: Desenho esquemático representando a lei zero da termodinâmica	49
FIGURA 3: Mapa conceitual representando a lei zero da termodinâmica.	49
FIGURA 4: Desenho esquemático diferentes percursos se levar de um estado inicial para um estado final	51
FIGURA 5: Desenho esquemático representando um diagrama $p \times v$, referente a um sistema termodinâmico de pressão e volumes variáveis.	55
FIGURA 6: Representação de um processo quase-estático ligando os estados a e b, no diagrama de clapeyron.	56
FIGURA 7: Mapa conceitual ilustrando a primeira lei da termodinâmica.	59
FIGURA 8: Figura esquemática do funcionamento de uma máquina térmica	62
FIGURA 9: Figura esquemática representando uma máquina térmica com eficiência de 100%.	62
FIGURA 10: Figura esquemática representando um diagrama pressão x volume para o ciclo de carnot	63
FIGURA 11: <i>Robert Stirling</i> (1790-1878), pastor escocês, inventor do motor <i>stirling</i> .	69
FIGURA 12: Figura mostrando o desenho esquemático do motor original proposto por Stirling,	70
FIGURA 13: Figura mostrando um diagrama pressão x volume, onde temos os tempos de funcionamento de um ciclo de um motor <i>Stirling</i> .	72
FIGURA 14: Materiais utilizados	79
FIGURA 15: Desenho esquemático do motor <i>Stirling</i> a ser montado	79
FIGURA 16: Motor Stirling Tipo Gama	80
FIGURA 17: Motor usado como protótipo	82
FIGURA 18: Fotos dos estudantes no primeiro encontro	83
FIGURA 19: Montagem dos motores	83
FIGURA 20: Alguns motores montados	84
FIGURA 21: Algumas respostas dos alunos após a oficina e sistematização	91
FIGURA 22: Algumas respostas sobre estudo dos gases	92
FIGURA 23: Algumas respostas sobre trabalho termodinâmico	93
FIGURA 24: Algumas respostas sobre a primeira lei da termodinâmica	94

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Materiais e ferramentas para a construção do motor <i>Stirling</i>	78
--	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	A DEMONSTRAÇÃO EXPERIMENTAL NO ENSINO DE FÍSICA E A TEORIA DE AUSUBEL	20
2.1	O PAPEL DA EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA	20
2.2	ALGUMAS CRÍTICAS À ATIVIDADE EXPERIMENTAL	25
2.3	USO DO LABORATÓRIO DE BAIXO CUSTO	28
2.4	USO DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE TERMODINÂMICA	32
2.5	A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE DAVID AUSUBEL	36
2.5.1	Tipos de Aprendizagem Significativa	39
2.5.2	O uso de organizadores prévios na aprendizagem significativa	40
3	AS LEIS DA TERMODINÂMICA	45
3.1	LEI ZERO DA TERMODINÂMICA.....	48
3.2	PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA	50
3.2.1	Quantidade de calor	53
3.2.2	Trabalho termodinâmico	53
3.2.3	Variação da energia interna (ΔU)	57
3.3	SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA	59
3.4	MÁQUINAS TÉRMICAS	61
3.4.1	Rendimento (ou eficiência) de uma máquina térmica	65
3.4.2	A máquina térmica de <i>Stirling</i>	68
4	O PRODUTO EDUCACIONAL	74
4.1	CONTEXTO DA APLICAÇÃO – PÚBLICO ALVO	74
4.2	RELATO DA APLICAÇÃO DO PRODUTO	76
4.2.1	1ª etapa: Oficina para construção do aparato experimental	77
4.2.2	Oficina para construção do motor <i>Stirling</i> caseiro	77
4.2.3	2ª etapa: Aulas com a utilização do aparato experimental	86
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
	REFERÊNCIAS	101
	APÊNDICE – O PRODUTO EDUCACIONAL	109

1 Introdução

Ao longo da história da educação no Brasil, assim como no mundo, o ensino de Física era apresentado, de uma maneira geral, como um conhecimento introduzido na escola de maneira desarticulada e descontextualizada da vida cotidiana da comunidade escolar. Este conhecimento era colocado como se leis, conceitos e fórmulas não fizessem parte da vida dos professores e alunos, sendo assim, desprovidos de um significado prático em suas atividades corriqueiras. Nesta temática, o ensino de física priorizava a teoria e a abstração, tendo a resolução repetitiva de exercícios como uma forma de fixar o conhecimento, usando a memorização como uma ferramenta para que o aprendizado acontecesse, como se a construção do conhecimento não fosse o objetivo fim do ensino de física.

Um grande salto para a melhoria no ensino de ciências no mundo, e consequentemente no Brasil, foi quando se passou a considerar o ensino de ciências e a formação docente voltada para o ensino de ciências como atividades imprescindíveis para o desenvolvimento de um país.

Essa visão do ensino de física como atividade estratégica para o desenvolvimento de um país, que surgiu no final da década de 50, perdurando até a década de 70, fez com que a produção científica e tecnológica brasileira ficasse, quase que exclusivamente, sob o domínio do Estado, mesmo as geradas nas universidades, tendo, como consequência, em muitos setores uma separação entre a pesquisa científica e a produção tecnológica, como afirmam Nascimento, Fernandes & Mendonça (2010).

Nos dias atuais o papel do professor de física, principalmente no ensino médio, não está mais fechado ao conteúdo dos livros didáticos, como já foi tratado há algum tempo. A nível de Brasil, os documentos oficiais, quando se referem ao ensino de física, enfatizam que este deve ter uma visão voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, de modo que os jovens, ao terminarem o ensino médio, mesmo não tendo mais contato escolar com o conhecimento em física, tenham adquirido a formação necessária para compreender e participar do mundo em que vivem (BRASIL, 2002).

Nesta temática, o conhecimento científico apresenta-se ao aluno como um produto pronto, acabado, fruto da atuação de mentes privilegiadas dos grandes

cientistas. Para esta abordagem, parte-se do pressuposto que o aluno, que absorverá o conhecimento científico, nada sabe sobre os assuntos abordados e que suas interpretações são distorcidas no tocante às ciências. Esta barreira necessita ser derrubada para que os mesmos possam ter uma aprendizagem satisfatória de um novo conteúdo ministrado, ou seja, aquilo que os alunos trazem de sua vivência sobre ciências, era considerado um empecilho para a aprendizagem do conhecimento científico ditado pelos livros didáticos.

Professores de ciências, e em especial os professores de física, quando exercem seu ofício, estão atuando como formadores de indivíduos que irão desempenhar seu papel de cidadão em uma sociedade que está permanentemente em evolução. Esta evolução, em todas as áreas, mas principalmente nas áreas da ciência e tecnologia, direciona o que é ensinado e como é ensinado, de modo a se adequar à tal evolução.

É devido a essa evolução que a qualidade do ensino em física ao qual os alunos têm acesso, foi sempre motivo de debates e estudos ao longo de décadas, tendo culminado com várias reformas nas diretrizes da educação e nos currículos escolares.

Como destaca Borges (2002), o ensino tradicional tem se mostrado pouco eficaz tanto do ponto de vista dos estudantes e professores, quanto das expectativas da sociedade para alavancar o nível do aprendizado por parte dos alunos no que se refere às ciências.

Ainda segundo o mesmo autor, ao citar diversas pesquisas, os resultados mostram que a escola vem sofrendo, ao longo do tempo, muitas críticas pela baixa qualidade do seu ensino, por sua incapacidade em preparar os estudantes para ingressar no mercado de trabalho ou na universidade, por não cumprir adequadamente seu papel de formação das crianças e adolescentes, e pelo fato de que o conhecimento que os estudantes exibem ao deixar a escola é fragmentado e de aplicação limitada.

Várias causas são apontadas para o quadro da escola atual e, mesmo sendo conhecidas e apontadas tais causas, ainda é deficitária, ou ineficaz, a atuação do ensino de ciências, tendo como meta a melhoria do quadro atual da educação brasileira, visando colocar esta em um patamar mais elevado, onde a educação tenha lugar prioritário, como acontece nas nações reconhecidamente promissoras.

Pensando na melhoria na qualidade da educação e, por que não dizer, na melhoria da qualidade do ensino, pesquisadores têm analisado esse quadro e buscando, apesar de não se ter um consenso, um entendimento à cerca do que se pode fazer para amenizar a grande disparidade da qualidade de nossa educação, seja no âmbito local, confrontando escolas públicas e particulares, seja no âmbito global, confrontando a nossa educação com a educação de outras nações.

A aprendizagem em Ciências, e mais especificamente em Física, tem sido objeto de discussões e críticas há muito tempo. Busca-se uma metodologia que venha a sanar ou amenizar tais discussões. Essa busca não é apenas dos pesquisadores e estudiosos do ensino de ciências, mas também dos professores que, lançando mãos dos vários recursos de que dispõem, possam melhorar sua metodologia de sala de aula para obter melhoria no que se refere ao ensino de física.

A temática sobre ensino de física é muito discutida nos eventos relacionados ao tema, e tem apresentado grandes avanços nos trabalhos propostos, tentando trazer novas abordagens, novas metodologias e, com essas, alavancar o ensino de física, contribuindo para a formação científica dos alunos, buscando satisfazer o que preconizam os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio ao propor que o ensino de ciências deve propiciar ao educando compreender as ciências como construções humanas, entendendo como elas se desenvolvem por acumulação, continuidade ou ruptura de paradigmas, relacionando o desenvolvimento científico com a transformação da sociedade (BRASIL, 2002).

Diversos estudos e pesquisas divulgados sobre o tema mostram que já houve um grande avanço, por meio de novas metodologias e estratégias para que o ensino de física cumpra o seu papel, preconizado nos documentos oficiais.

Uma das propostas que sempre está em destaque na tentativa de ser uma saída à dificuldade em se atingir os propósitos para o ensino de física no ensino médio é a que dá à experimentação um papel de destaque.

Segundo Zanon & Freitas (2007), “a atividade experimental deve ser desenvolvida, sob orientação do professor, a partir de questões investigativas que tenham consonância com aspectos da vida dos alunos que se constituam problemas reais e desafiadores”.

Estes autores ainda enfatizam, ao se referirem ao papel das atividades investigativas, que elas podem ser entendidas como situações onde os alunos aprendem ao se envolverem com as manifestações dos fenômenos naturais, fazendo

colocações, experimentando, acertando, errando, utilizando-se da interação com os colegas e professores para, expondo seus pontos de vista e confrontando-os com os dos colegas e com os resultados experimentais afim de testar sua pertinência e validade.

Vemos então, que o papel da atividade experimental na aprendizagem em ciências é uma valiosa ferramenta para a formação de futuros cidadãos, capazes de atuar eficazmente na sociedade em que estejam inseridos. Porém, esse papel depende, em muito, de como o professor vai atuar no desenvolvimento dessa atividade, com suas ações, perspectivas e expectativas.

Nas palavras de (Axt, Moreira, & Silveira, 1990):

A experimentação pode ser utilizada para colocar o aluno diante de situações concretas e de evidências que ativem seu pensamento e o tornem consciente da eventual existência de uma discrepância entre a sua maneira de pensar e aquilo que a evidência está a indicar ou, ainda, o façam verbalizar ideias nas quais o professor identificará um conflito do qual o aluno não toma consciência. (AXT, MOREIRA & SILVEIRA, 1990, p. 142)

A atividade experimental, ao ser disponibilizada para os alunos, tem como objetivo principal ir além de uma mera observação ou manipulação de materiais e equipamentos. Ela deve dar condições ao aluno para que, ao realizar tal atividade, possa elencar ideias e suposições sobre os fenômenos envolvidos em tal atividade.

Tomando por base essa linha de pensamento, podemos perceber que ao professor cabe a função de orientador e mediador na atividade experimental, deixando para o aluno todo o protagonismo, fazendo deste o ator principal de toda a ação inicialmente proposta.

Essa visão é reforçada por Andrade & Massabni (2011), ao afirmarem que o professor, ao propor problemas em forma de pequenos experimentos, deve fazê-lo de modo a permitir aos alunos realizarem observações, classificações entre outras tarefas, delegando-se ao professor o papel de orientador da aprendizagem.

Percebemos então a atividade experimental como uma ferramenta que pode ser considerada, até certo ponto, indispensável no que se refere à evolução pela qual o ensino de ciências e, em particular, o ensino de física, tem sido submetido. E, nessa evolução temos como um de seus melhores frutos a busca pela formação de cidadãos atuantes e solidários, capazes de compreender melhor o mundo em que vivem.

Ainda falando sobre a importância da atividade experimental, Saraiva-Neves, Caballero & Moreira (2006) afirmam que o trabalho experimental é um componente importante no ensino de ciências, sendo reconhecido por seus modelos ou tendências mais representativas, mesmo que a este sejam atribuídos objetivos e ênfases diferentes.

O presente trabalho tem como objetivo geral desenvolver uma estratégia que, lançando mão da atividade experimental, seja uma ferramenta que o professor de física possa lançar mão para trabalhar os conteúdos de termodinâmica de modo que seja possível alavancar uma aprendizagem mais significativa e duradoura de tal área, tão importante para o ensino de física no ensino médio.

A atividade experimental desenvolvida e relatada nesse trabalho tem como objetivo, partindo da montagem de um motor de combustão externa usando materiais acessíveis, desenvolver uma discussão sobre seu funcionamento e usá-la como organizador prévio para o estudo da termodinâmica.

Para alcançar este objetivo, foi feita uma análise do que Saraiva-Neves, Caballero & Moreira (2006), ao citarem D. Hodson¹, consideram como fatores que devem ser levados em consideração em relação ao ensino de laboratório e, conseqüentemente, à atividade experimental. Os fatores citados são:

1. motivar, estimulando o interesse e o prazer pela investigação;
2. treinar destrezas laboratoriais;
3. dar ênfase à aprendizagem do conhecimento científico;
4. despertar a percepção sobre o método científico e adquirir perícia na sua utilização;
5. desenvolver certas "atitudes científicas" como abertura ao novo e objetividade. (Hodson, 2000 apud SARAIVA-NEVES, CABALLERO & MOREIRA, 2006, p. 387-388)

Partindo da análise desses pontos, este trabalho foi idealizado com o uso de materiais de baixo custo para a montagem de um motor *Stirling* caseiro e a discussão de seu funcionamento, que será usada como organizador prévio para o estudo de termodinâmica no ensino médio.

A primeira etapa desse trabalho consiste em realizar uma pesquisa bibliográfica sobre ensino de física no Brasil, dando ênfase no que se refere a importância da atividade experimental no ensino de ciências e mais precisamente no

¹ Hodson, D. (2000). The place of Practical Work in Science Education. In *Trabalho Prático e Experimental na Educação em Ciências*. Braga: Universidade do Minho.

ensino de física no ensino médio, buscando investigar estratégias pedagógicas que possam ser usadas no processo ensino-aprendizagem de física no ensino médio, no que se refere ao uso de atividades experimentais.

Feito isso, os objetivos específicos desse trabalho são:

- Desenvolver um conjunto de estratégias que, utilizando-se de um produto educacional intitulado “**MONTAGEM DE UM MOTOR STIRLING ARTESANAL E USO DA DISCUSSÃO SOBRE SEU FUNCIONAMENTO COMO ORGANIZADOR PRÉVIO NO ENSINO DE TERMODINÂMICA**”, lançando mão da construção de um motor *Stirling* caseiro, sirvam para trabalhar o conteúdo de estudos dos gases e termodinâmica no ensino médio;
- Aplicar e validar tais estratégias em uma turma da segunda série do ensino médio, avaliando a sua viabilidade de aplicação;
- Elencar as facilidades e dificuldades, bem como expectativas, sucessos e fracassos na aplicação da referida proposta, de modo a contribuir para que os professores que lançarem mão de tal proposta possam otimizar seu uso, tendo como resultado uma atividade que traga bons resultados no que se refere à aprendizagem em relação aos conteúdos abordados.

O texto está dividido em cinco capítulos. No primeiro capítulo temos a introdução, onde fazemos um breve relato da motivação do nosso trabalho e a contribuição de alguns autores sobre a importância do ensino de física e da atividade experimental, como ferramenta para melhorar o ensino de ciências em nossas escolas.

No segundo capítulo é feito um levantamento das discussões e pesquisas relacionadas ao uso de atividades experimentais no ensino de física, mais especificamente no ensino da termodinâmica. Também é feita uma análise de escritos sobre a Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel, a qual foi preterida para embasar nosso trabalho por acharmos que ela se adequa bem ao nosso propósito, que tem foco na atividade experimental.

O terceiro capítulo tratamos do formalismo da termodinâmica em nível de ensino superior.

No quarto capítulo é detalhada a metodologia utilizada, bem como é relatada a aplicação do produto educacional desenvolvido, que será aplicado na segunda série do ensino médio do curso de Técnico Integrado em Segurança do Trabalho no IFPB Campus Patos.

O quinto capítulo traz as considerações finais do trabalho, onde estão expressas as percepções acerca dos resultados obtidos, sucessos e fracassos, da motivação dos alunos e contribuições de como melhorar a utilização do produto educacional ao qual este trabalho está vinculado, bem como da utilização de atividades experimentais no ensino de física.

Em síntese, este trabalho descreve como foi desenvolvido e aplicado o produto educacional que é composto de um manual sobre a construção de um motor *Stirling* caseiro e uma apostila sobre estudos de termodinâmica com a discussão do funcionamento do motor *Stirling* caseiro como organizador prévio dos temas estudados na apostila.

Para que este trabalho desempenhe o papel esperado, se ampara na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, haja vista que no cotidiano dos nossos alunos temos numerosas oportunidades de vislumbrar aplicações das leis e fundamentos da física.

Na aplicação do produto foi adotada a abordagem qualitativa, buscando sempre dar ênfase ao conteúdo ao qual o material se propunha a abordar.

As intervenções foram em aulas de duração de 50 minutos, onde o foco estava na exploração dos temas de estudo dos gases e termodinâmica, tendo como tema gerador das discussões o motor *Stirling* caseiro montados pelos alunos, buscando sempre fazer um paralelo entre conteúdo e motor construído, buscando sempre fazer uma contextualização entre a linguagem cotidiana do aluno com a linguagem científica.

2 A demonstração experimental no ensino de Física e a Teoria de Ausubel

A partir de agora vamos falar um pouco sobre a atividade experimental voltada para o Ensino de Física, buscando atrelar o mesmo à Teoria da Aprendizagem Significativa de David Paul Ausubel.

2.1 O papel da experimentação no ensino de física

É ponto comum para a maioria dos professores de ciências, e em especial os professores de física, que a experimentação é uma ferramenta de extrema importância. Acontece, porém, que, como um paradoxo, mesmo sendo colocadas em patamares de grande relevância, não é muito comum, no ambiente escolar, termos atividades didático-pedagógicas envolvendo aspectos experimentais. Existem várias razões que podem ser apontadas como possíveis explicações para esse quadro, como as limitações impostas pela formação dos professores bem como as dificuldades inerentes à realidade encontrada em sala de aula, como falta de interesse dos alunos e a baixa carga horária.

Nas Orientações Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+), há um grande destaque no que se refere às atividades experimentais, como pode se observar na transcrição a seguir:

É indispensável que a experimentação esteja sempre presente ao longo de todo o processo de desenvolvimento das competências em Física, privilegiando-se o fazer, manusear, operar, agir, em diferentes formas e níveis. É dessa forma que se pode garantir a construção do conhecimento pelo próprio aluno, desenvolvendo sua curiosidade e o hábito de sempre indagar, evitando a aquisição do conhecimento científico como uma verdade estabelecida e inquestionável. (BRASIL, 2002, p. 84)

Para Saraiva-Neves, Caballero & Moreira (2006, p. 384), a atividade experimental “tem uma reconhecida importância na aprendizagem das ciências, largamente aceita entre a comunidade científica e pelos professores como metodologia de ensino, com resultados comprovados em muitas investigações”.

Araújo & Abib (2003) afirmam ser possível pontuar que, de modo geral, os experimentos estimulam os alunos a refletirem e reavaliarem a sua compreensão sobre os conceitos abordados pelo professor em sala de aula. Temos então que,

nessa visão sobre a atividade experimental, experimentos que mostrem a importância da física na vivência dos alunos contribuem para um melhor entendimento da mesma, pois estes, por meio da observação e manipulação, compreendem os fenômenos estudados na teoria de um ponto de vista prático.

Ao abordar a aplicação de atividades experimentais sob diferentes tendências e modalidades de uso, fazendo uma análise de artigos relacionados ao tema, estes autores conseguem identificar alguns dos diferentes aspectos metodológicos relacionados às atividades experimentais. Segundo eles, as principais tendências no tocante às atividades experimentais são a demonstração, a verificação e a investigação. Os mesmos são categóricos em afirmar que, independentemente da tendência abordada, não há dúvidas de que a utilização das atividades experimentais “pode possibilitar a formação de um ambiente propício ao aprendizado de diversos conceitos científicos sem que sejam desvalorizados ou desprezados os conceitos prévios dos estudantes” (ARAÚJO & ABIB, 2003, p. 190).

Ainda segundo estes, de acordo com a pesquisa feita, uma das tendências mais usadas pelos autores pesquisados é a atividade experimental de demonstração, que tem como característica mais marcante a possibilidade de ilustrar alguns aspectos dos fenômenos observados, buscando torna-los perceptíveis e capazes de levar os alunos a elaborarem representações concretas em relação ao que foi observado. Estes autores destacam que há dois procedimentos metodológicos distintos de se aplicar a atividade experimental de demonstração: as Demonstrações Fechadas e as Demonstrações/Observações Abertas.

Para eles, a Demonstração Fechada tem como característica principal a simples ilustração de um determinado fenômeno, onde a atividade é centrada na atuação do professor que a realiza; já a Demonstração/Observação Aberta incorpora outros elementos, tendo uma maior abertura e flexibilidade para discussões que contribuem para um maior aprofundamento nos aspectos conceituais e práticos, possibilitando o levantamento de hipóteses e uma reflexão crítica, tendo a demonstração como um ponto de partida para se discutir os fenômenos abordados, possibilitando uma exploração mais profunda dos temas a serem estudados.

Quanto às demonstrações experimentais realizadas em sala de aula, se apresentadas adequadamente, desencadeiam oportunidades peculiares e momentos de aprendizagem que raramente surgem nas chamadas aulas tradicionais, onde temos tão somente o uso da lousa e do giz, ou em atividades experimentais realizadas

apenas pelos alunos, com ou sem a orientação do professor, como destacam Gaspar & Monteiro (2005). Esses autores afirmam ainda que o uso das atividades experimentais deve estar:

“[...] vinculado à proposta de um referencial teórico que contemple características específicas desse procedimento, como o papel da interação social, desencadeadas pela demonstração experimental e a importância da mediação simbólica cujo uso ela possibilita.” (GASPAR & MONTEIRO, 2005, p. 230)

Séré, Coelho & Nunes (2003), afirmam que há diferentes abordagens a serem consideradas quando se faz opção por um determinado experimento:

- a maneira clássica, onde o aluno não tem que discutir, apenas aprende como se servir de um material ou método; aprende a manipular uma lei, variando seus parâmetros e aprende a observar um fenômeno.
- outro tipo de abordagem é aquele onde a lei não é questionada; ela é conhecida e utilizada para calcular um determinado parâmetro, como se faz num laboratório de metrologia ou testes. Os autores enfatizam que, nessa abordagem há a necessidade de uma competência complementar, a de avaliar. Competência essa que, ainda segundo os autores, raramente é usada no ensino.
- outro enfoque que, segundo os autores, é cada vez mais considerado graças ao uso da informática, consiste em traduzir sob diferentes formas um conjunto de dados relativos a um determinado fenômeno: coletar dados e selecioná-los; encontrar modelos diferentes e testá-los no computador. Para os autores, essa é uma maneira de servir-se da teoria, pois é possível comparar modelos e determinar o domínio de validade de uma lei.
- a última abordagem é a que remete às atividades de produção, onde a relação entre a teoria e o experimento é bastante interessante, pois o que se aprende de teórico é utilizado de forma diferente do habitual, pois, muitas vezes, no campo prático, as operações intelectuais utilizadas diferem das necessárias para a resolução de problemas do tipo papel e lápis. Segundo os autores, teorias modernas de psicologia e ergonomia mostram que os físicos aplicam com frequência regras intuitivas, derivadas de seus conhecimentos procedurais, de hábitos adquiridos ou simplesmente do bom senso, ao invés de princípios físicos elaborados.

A análise das diferentes abordagens listadas anteriormente, nos dá uma visão geral de como podemos usar a atividade experimental, não só dinamizar as aulas,

mas como uma maneira de trazer o conhecimento científico para a sala de aula. Trazer aquele conteúdo que, muitas vezes para o nosso aluno apenas é “possível de ser visto” nos livros didáticos, para as mãos dos nossos alunos, de modo que eles possam manipular, ver, tocar e entender que a ciência está presente não só nos laboratórios dos cientistas.

Existem ainda outras análises acerca da Experimentação no Ensino de Ciências, como a proposta por Moreira & Gonçalves (1980) que dão sua contribuição ao fazerem estudo comparativo entre as atividades experimentais denominadas de Laboratório Estruturado e Laboratório Não-estruturado.

O enfoque desse estudo foi a problemática da aprendizagem do aluno no que tange à compreensão dos conteúdos de Física Geral em nível básico da graduação universitária. Esses autores consideram a atividade laboratorial como parte indissociável do ensino de Física.

Sobre isso, Moreira & Gonçalves (1980) afirmam:

“Os objetivos de tal atividade geralmente visam auxiliar na compreensão do conteúdo propriamente dito, isto é, dos conceitos, fatos, relações, leis e princípios físicos ou um melhor entendimento do método científico, da Física como ciência. Quanto às estratégias usadas para atingir estes objetivos pode-se, sem muito rigor, dividi-las em estruturadas e não estruturadas.” (MOREIRA & GONCALVES, 1980, p. 368)

Segundo os autores, em um Laboratório Estruturado, as atividades experimentais realizadas obedecem determinada sequência de procedimentos a fim de possibilitar que os resultados previstos sejam atingidos. É fornecido ao aluno um passo a passo para a realização de tais procedimentos, visando dar ênfase à verificação dos processos físicos envolvidos nas atividades propostas por meio de atividade experimental. Para tanto é disponibilizado um roteiro contendo uma introdução, um conjunto de objetivos operacionais a serem atingidos ao longo da atividade experimental e todo o detalhamento a ser seguido pelo aluno. Num primeiro momento as proposições propostas destinam-se a dar um embasamento teórico para a atividade experimental a ser realizada. Na sequência são apresentados questionamentos com foco na atividade experimental, etapa onde, após o passo a passo apresentado, almeja-se que sejam atingidas as metas propostas.

Já a atividade experimental denominada Laboratório Não-estruturado tem como premissa a proposição de um problema ao aluno e este tem a liberdade de

lançar mão do procedimento experimental que achar mais pertinente para auxiliá-lo na solução do problema proposto, organizando os resultados obtidos de modo a levá-lo a tirar suas próprias conclusões. No laboratório não-estruturado todos os objetivos a serem atingidos são bem definidos, ficando à cargo do aluno a realização das atividades experimentais.

Sobre o laboratório não-estruturado, Malheiro (2016) enfatiza que “os educandos desfrutam de plena liberdade para desenvolverem os experimentos que julgarem imprescindíveis para elucidar o problema inicial a que foram desafiados a solucionar.” (MALHEIRO, 2016, p. 113).

Resumidamente Moreira & Gonçalves (1980) afirmam que, ao passo que o Laboratório Estruturado fornece procedimentos detalhados ao aluno, no Laboratório Não-Estruturado apenas se especifica o objetivo da atividade, deixando ao cargo do aluno todo o procedimento a ser adotado.

Sobre as características básicas dessas duas abordagens esses autores dizem:

“Por exemplo, o laboratório estruturado enfatizaria a verificação experimental dos princípios físicos enquanto que o não estruturado encorajaria a redescoberta desses princípios. Por outro lado, laboratório estruturado não deve ser tido com sinônimo de *receita de cozinha*, pois deve levar o aluno a pensar sobre o procedimento que segue, nem o laboratório não estruturado deve ser, necessariamente, pensado com totalmente desestruturado.” (MOREIRA & GONCALVES, 1980, p. 368) [grifo dos autores]

Existem ainda outras abordagens para as atividades experimentais. Manacorda (2006) destaca a importância do que ele chama de “Experiência Direta” onde os materiais são utilizados como princípio educativo e também como facilitador do acesso ao conhecimento científico. Para ele, em termos pedagógicos, o mais importante é o contato ativo com uma grande quantidade de materiais que possibilitem maneiras de atingir todos os recursos da ciência e que levem a compreender o meio social em que vivem.

Ao se referir a importância que se dá às atividades experimentais, Galiazzi, et al. (2001), citando D. Hodson, descreve dez motivos para que estas sejam implementadas nas nossas escolas. Tais motivos são:

1. estimular a observação acurada e o registro cuidadoso dos dados;
2. promover métodos de pensamento científico simples e de senso comum;
3. desenvolver habilidades manipulativas;
4. treinar em resolução de problemas;
5. adaptar as exigências das escolas;

6. esclarecer a teoria e promover a sua compreensão;
7. verificar fatos e princípios estudados anteriormente;
8. vivenciar o processo de encontrar fatos por meio da investigação, chegando a seus princípios;
9. motivar e manter o interesse na matéria;
10. tornar os fenômenos mais reais por meio da experiência. (Hodson, 1998c, p. 630 apud GALIAZZI, et al., 2001, pp. 252-253)

Delizoicov (1994) vislumbra nas atividades experimentais uma garantia para que a relação teoria-prática não seja transformada em uma dicotomia. Ele destaca que não significa manter o direcionamento de emprego da experimentação como simples ferramentas de demonstração e verificação. Sobre isso ele nos diz:

“Considera-se mais conveniente um trabalho experimental que dê margem à discussão e interpretação de resultados obtidos (*quaisquer que tenham sido*), com o professor atuando nos sentidos de apresentar e desenvolver certos conceitos, leis e teorias envolvidas na experimentação. Dessa forma o professor será um orientador crítico da aprendizagem, distanciando-se de uma postura autoritária e dogmática no ensino e possibilitando que os alunos venham a ter uma visão mais adequada do trabalho em ciências. Se essa perspectiva da atividade experimental não for contemplada, será inevitável que se resuma à simples *execução de receitas* e à *comprovação da verdade daquilo que repousa nos livros didáticos*.” (DELIZOICOV, 1994, p. 22) [grifos do autor]

Podemos perceber, de acordo com os textos lidos, que muito mais do que demonstrar e/ou provar teorias e leis, as atividades experimentais integram uma parte importante do ensino de ciências mesmo sendo, muitas vezes, rebaixada a um patamar de menor importância.

2.2 Algumas críticas à atividade experimental

Apesar de ser quase que um consenso que a atividade experimental se apresenta como uma ferramenta imprescindível para implementar o ensino de ciências nas nossas escolas, bem como tornar estas aulas mais atrativas, também há críticas aos objetivos destas nas aulas de ciências, principalmente ao modo como estas estão sendo desenvolvidas e os objetivos almejados por tais práticas.

O que vemos é que a mera realização de atividades experimentais não são garantia de que a aprendizagem, objetivo de qualquer aula, seja alcançada. Muitas vezes essas atividades podem ser empregadas de modo que os objetivos educacionais da atividade não sejam atingidos, servindo apenas de uma forma diferente de repassar um determinado conteúdo. Nessas situações, os alunos e o

professor passam a ser apenas repetidores de procedimentos onde o objetivo final é obter resultados que outros já obtiveram, sem que haja um estímulo à discussão do quanto de ciências está sendo produzido, pois o objetivo é apenas a reprodução de uma atividade experimental.

Galiazzi et al. (2001), ao fazerem uma análise de críticas à atividade experimental, destacam que uma crítica recorrente é com relação à ênfase que se dá para a formação de cientistas. Segundo os autores, é muito pequeno o percentual de estudantes que irão seguir as carreiras científicas, fato esse que não justificaria se fazer atividades experimentais voltadas para a formação de cientistas. Para estes autores, com os quais concordamos, alguns objetivos que justificam a realização de atividades experimentais estariam ancorados na perspectiva de desenvolver a observação, o aprendizado em registrar dados e a manipulação desses dados, mesmo que esses objetivos não se destaquem como os mais importantes na formação de cidadãos, uma das principais funções da escola.

Outro ponto que os autores discordam no tocante às atividades experimentais é a ênfase dada as atividades que tem como principal objetivo o desenvolvimento de habilidades manipulativas por não acharem que, na educação básica, seja primordial “aprender a pesar considerando algarismos significativos, a ler corretamente o volume de uma bureta, a pipetar com o dedo indicador” (GALIAZZI, et al., 2001, p. 254). Endossamos a opinião destes autores quando afirmam que deveria ser objetivo das atividades experimentais desenvolver atitudes e destrezas cognitivas de alto nível e não destrezas manuais ou técnicas experimentais.

Sobre o desenvolvimento das destrezas cognitivas, estes autores chamam atenção para o fato de “que o ensino experimental deveria vir após algum desenvolvimento teórico, atentando-se ao fato de que o conhecimento científico sobre ideias e não sobre fatos.” (GALIAZZI, et al., 2001, p. 254).

Estes autores pontuam ainda que pesquisas sobre aprendizagem revelam ser muito difícil mudar certas concepções que os alunos já possuem sobre determinados fenômenos e como estas influenciam na forma como estes serão percebidos pelos mesmos.

Ao se referirem aos resultados de suas pesquisas sobre a experimentação, Villani & Carvalho (1993) relatam que estes, ainda que limitados, levam a crer ser falsa a impressão que se tem de que o contato com a experimentação e a conseqüente apropriação cognitiva de seus resultados por parte do estudante é algo realizado sem

dificuldades e de uma maneira direta. Para eles, os resultados obtidos levavam a crer que a observação de experimentos nem sempre era realizada num contexto que vinculasse esta ao processo de conhecimento científico ou à evolução intelectual. Para os autores, a observação assumia esta conotação, em determinadas circunstâncias; mas quando acontecia, tornava-se altamente eficiente.

Em suas conclusões estes autores consideram que suas análises feitas a partir da pesquisa desenvolvida sejam relevantes na busca de promover um diálogo significativo entre os agentes da atividade experimental (professor e alunos), buscando direcionar a ação didática de modo que esta seja capaz de construir uma mediação entre a concepção espontânea dos estudantes e os resultados obtidos nos experimentos.

Sobre a relevância da aplicação de atividades experimentais nos diversos níveis de ensino, Ferreira (1978), enaltece que estas se constituem como um importante instrumento para que os estudantes adquiram determinadas habilidades e conceitos, principalmente os que se encontram no estágio do pensamento concreto. Para ele, a utilização frequente de atividades práticas e experimentais é uma valiosa contribuição para as populações estudantis brasileiras, haja vista que, boa parte destas encontram-se em um estágio do desenvolvimento intelectual classificável como concreto, apresentando grandes dificuldades no campo da matemática. Por outro lado, continua o autor, se para os que já atingiram o nível de raciocínio formal as atividades experimentais aparentam deixar de ser imprescindíveis, é nesta fase que surgem as possibilidades de exercício completo, vindo, portanto, válidas quaisquer formas que justifiquem sua introdução. Para Ferreira (1978) o papel de “orientador da aprendizagem” desempenhado pelo professor é uma característica marcante no tocante ao uso didático da atividade experimental. Como consequência, os estudantes ficam encarregados de realizar o trabalho mais “intelectual” dos procedimentos, como seleção de instrumental, desenvolvimento de técnicas de laboratório, determinação de objetivos das atividades, entre outros.

Em síntese, ao fazermos uma leitura do pensamento de alguns autores sobre a atividade experimental, vemos que mesmo tendo possibilidades de diferentes enfoques, dependendo do nível de ensino em que serão aplicadas, o foco não pode ser apenas desenvolver a observação, registrar dados ou manipular dispositivos e efetuar medidas. Pois, como já foi dito, não se pode afirmar categoricamente que estas

habilidades sejam as mais importantes no que se refere à formação de cidadãos críticos e atuantes, um dos pilares da educação.

Outro ponto em que concordamos é que as atividades experimentais podem ser um ancoradouro para o desenvolvimento de competências e habilidades com um elevado nível intelectual e não apenas habilidades para a leitura de manuais ou manipulação de instrumentos.

Cabe também ressaltar que uma aula dentro de um laboratório não significa, necessariamente, uma atividade experimental uma vez que, em alguns casos, os estudantes podem simplesmente “estar realizando estudos dirigidos práticos, que visam demonstrar que a teoria aprendida é verdadeira ou, então, conduzi-la de forma diretiva para um determinado conceito” como destacam (FRACALANZA, AMARAL & GOUVEIA, 1987, p. 77), neste caso, complementam os autores, teremos a realização de atividades práticas e não atividades experimentais.

Vimos também que, a atividade experimental quando usada buscando o desenvolvimento de habilidades cognitivas deve sempre levar em conta o fato de que as concepções prévias dos estudantes delimitam o modo como eles irão se comportar no tocante à mudança dessas concepções, o nem sempre é uma tarefa fácil, como vistos em textos desse trabalho, baseados em pesquisas sobre aprendizagem.

Podemos concluir que a utilização das atividades experimentais nas escolas surgiu como uma ferramenta de inovação, buscando ser um divisor de águas na ação pedagógica visando um melhor desempenho do processo de ensino/aprendizagem com foco na educação científica. Porém em algumas das propostas de intervenção ainda se encontram arraigados os vieses dos princípios empiristas, muitas vezes embutidos na própria formação do professor, contribuindo para a manutenção destes na execução dessas atividades. Vemos que, nesse ponto, a formação dos professores de ciências, inicial ou continuada, tem uma grande importância para que a Atividade Experimental seja bem fundamentada, trazendo bons frutos para a formação do conhecimento científico.

2.3 Uso do laboratório de baixo custo

Autores como Ribeiro (1955), Violin (1979), Laburú, Silva & Barros (2008), Silva & Leal (2017), dentre outros autores, são defensores da utilização de materiais

de baixo custo nas atividades experimentais como uma alternativa para aquelas escolas que não dispõem de laboratórios equipados.

É possível, lançando mão de materiais de baixo custo, realizar uma grande gama de atividades experimentais sem, necessariamente, a necessidade de ambientes especiais como laboratórios com equipamentos geralmente de custo elevado.

A utilização desse tipo de material, adotada neste trabalho, é uma opção metodológica que pode ser utilizada nas escolas como uma opção principalmente para aquelas que não dispõem de recursos para montarem laboratórios com equipamentos que, geralmente, dispensam de muitos recursos financeiros para serem mostrados.

Em relação à utilização de materiais de baixo custo, com a possibilidade do próprio estudante desempenhar não apenas o papel de um mero manipulador de equipamentos mas de construtor de seu próprio aparato experimental, Ribeiro (1955), a mais de sessenta anos já nos dizia que:

“... aparelhos e montagens improvisadas, executadas com os recursos mais modestos de laboratórios, deve ser considerada não como uma solução de emergência, mas ao contrário, como uma nova técnica desejável para desenvolver as capacidades construtivas e inventivas do estudante”. (RIBEIRO, 1955, p. 54)

Por essa opinião, podemos afirmar que a utilização de materiais de baixo custo, bem mais que uma “saída econômica” para a realização de atividades experimentais, se constitui, na realidade, como uma outra abordagem metodológica para estas.

Nos dias atuais, onde a sociedade “moderna” se encarrega de inserir nossos estudantes na sociedade do “consumo”, onde o “normal” é a busca pelas coisas prontas, é esperado que o “laboratório pronto e montado” esperando apenas para ser manipulado seja mais atraente.

Sobre a ideia de se entregar “tudo pronto” para os nossos estudantes, Santos, Piassi & Ferreira (2004), destacam uma fala importante de Pyotr Leonidovich Kapitsa², ganhador do Prêmio Nobel de Física em 1978:

² KAPTISA, P. *Experimento, Teoria e Prática: artigos e conferências*, Moscou, Ed. Mir, 1985.

“Para que um estudante compreenda um experimento, ele próprio deverá executá-lo, mas ele entenderá muito melhor se, além de realizar o experimento, ele construir os instrumentos para sua experimentação”. (Kaptisa, 1985 apud SANTOS, PIASSI & FERREIRA, 2004, p. 8)

Concordamos plenamente com estas palavras pois, como já foi dito, nossos estudantes tão acostumados a ter tudo “de bandeja” (usando um jargão antigo), tendo a possibilidade de serem os construtores de seus próprios experimentos é com certeza uma maneira de deixar o conteúdo a ser abordado mais presente na sua atuação como pesquisador e, por que não dizer, como cientista.

Violin (1979) já alertava que uma das dificuldades encontradas pelos professores no tocante a realização de atividades experimentais reside no fato da não existência de laboratório e/ou falta de equipamentos. Ele afirma que esta dificuldade não pode ser motivo para que os professores programem suas atividades sem nenhuma preocupação em realizar atividades experimentais.

Corroboramos com o autor quando o mesmo afirma entender que a falta de laboratório e equipamentos não podem ser tornar os principais fatores para a não realização de atividades experimentais no ensino de física.

A saída para que essa lacuna seja preenchida reside na utilização de materiais de baixo custo, que muitas vezes, dependendo do material a ser utilizado pode sair sem custo algum como, por exemplo, os materiais de “sucata”.

Os experimentos elaborados com materiais de sucata e de baixo custo, comumente chamados de experimentos de baixo custo, estão sendo, como afirmam Laburú, Silva & Barros (2008), uma linha de atuação do ensino de física que busca o desenvolvimento de aparelhos e experimentos didáticos que possam suprir as carências de laboratórios e/ou equipamentos. Para eles, essa proposta traz algumas contribuições: baixo custo de manutenção, reposição imediata e facilidade de manuseio. Uma outra contribuição está no fato de que estes experimentos são elaborados e planejados para estar ao alcance de professores e alunos, facilitando a relação dos atores envolvidos com os materiais e a montagem dos experimentos. Para o professor, ressaltam os autores, há a segurança de se trabalhar com equipamentos com os quais ele detém controle tanto quanto à manipulação quanto à teorização. Para os alunos além segurança no manuseio dos materiais, a realização da atividade experimental em si permite focar a concentração na relação experimento-

teoria sem a necessidade de dividir essa concentração com o domínio de técnicas e manejo e instrumentos dos “laboratórios científicos”.

Uma outra característica relevante das atividades experimentais de baixo custo reside no fato de que a realização das mesmas pode ser feita em ambientes alternativos ao laboratório, podendo ainda, ser usada a própria sala de aula, como acrescentam Laburú, Silva & Barros (2008). Para eles, há ainda a possibilidade de os experimentos serem até mesmo nas casas dos alunos. Uma alerta importante que estes autores fazem é que trabalhar com material de baixo custo não significa trabalhar com material de qualidade inferior ou limitado a materiais de baixa tecnologia.

Uma outra crítica que se faz ao uso do laboratório de baixo custo reside no fato de que, muito mais que passar uma imagem de sustentabilidade e de fascínio para os estudantes por estarem construindo seus experimentos, há de se ter cuidado para que não se torne “apenas isso”, passando uma ideia de que a atividade experimental é algo simples, trazendo uma imagem que foge verdadeiramente o que é fazer ciência.

A possibilidade de se utilizar materiais mais simples não se detém apenas ao fator custo, mas passa pela possibilidade de fazer com que o estudante tenha a capacidade de ter domínio sobre todo o processo do conhecimento, desde a construção do aparato, por seus próprios méritos, passando pela aproximação do mesmo ao conhecimento científico, mostrando como a ciência se aplica no mundo a sua volta. Acima de tudo isto, está a possibilidade de se testar hipóteses de forma criativa, partindo de propriedades conhecidas ou que se supõe dos materiais utilizados e dos testes realizados por ele, como nos diz Santos, Piassi & Ferreira (2004).

O laboratório de baixo custo não pode se revestir como uma mera medida paliativa à utilização dos laboratórios ditos prontos, pois o foco da experimentação não se resume apenas ao aparato experimental, mas sim na formação do ator da experimentação, que busca solucionar os desafios que lhe são lançados.

Na busca desse ideal, onde o estudante, ao manipular os experimentos por ele montado, se embrenhe na busca de soluções para uma problematização que o instigue a essa busca, tirando o mesmo de sua zona de conforto.

Essas são algumas premissas da atividade experimental com material de baixo custo, que a nossa abordagem busca tentar fazer valer.

2.4 Uso de atividades experimentais no ensino de Termodinâmica

O estudo da Termodinâmica não se restringe apenas ao ambiente escolar, mas é de extrema importância no cotidiano dos estudantes. Os conhecimentos advindos da Termodinâmica promoveram uma grande transformação no nosso entendimento do universo, principalmente com suas implicações filosóficas sobre o que se conhecia da natureza.

Entre muitas definições, podemos dizer que a Termodinâmica se consiste em uma teoria física que busca analisar como se comportam sistemas físicos de variados graus de liberdade em transformações que envolvam os seus estados macroscópicos, comumente em equilíbrio.

Como nos lembra Young (2008), ao dirigirmos um carro, usarmos uma geladeira, um condicionador de ar, ou usarmos um eletrodoméstico, estamos nos beneficiando de dispositivos práticos advindos de aplicações da Termodinâmica, que tem o estudo das relações envolvendo calor, trabalho mecânico e outros aspectos da energia e sua transferência.

Defendemos a ideia de que, ao estudar termodinâmica, o estudante tenha uma visão mais ampla do que apenas conhecer os conceitos científicos inerentes à tal conteúdo, mas, também, perceber toda a termodinâmica que está envolvida no mundo que a rodeia, como por exemplo, entender que o refrigerador da casa dele ou um automóvel que passa na rua têm muito do seu desenvolvimento graças ao domínio da termodinâmica. A busca é, como já foi dito, estabelecer uma fina relação entre a ciência e o seu cotidiano.

Uma ferramenta que vem preencher esta expectativa reside na utilização da atividade experimental voltada para o ensino de termodinâmica. Não por isso, esse trabalho tem seu cerne voltado para o uso da atividade experimental para o ensino de termodinâmica.

Ao fazer uma análise de trabalhos publicados em dois periódicos voltados para o ensino de física com abrangência nacional³, Araújo & Abib (2003) constataram que entre os anos de 1992 e 2001, de um total de 92 artigos publicados, 4 deles (4,3%) se referem à Calorimetria e 3 deles (3,3%) são sobre Gases. Ao fazer um levantamento em publicações científicas e websites que façam referências à utilização

³ Revista Brasileira de Ensino de Física (da SBF) e Caderno Catarinense de Ensino de Física (da UFSC)

de experimentos que abordem conceitos de termodinâmica por meio da reprodução de experimentos simples, com materiais de baixo custo, que podem ser facilmente reproduzidos em sala de aula, Rocha & Dickman (2016) elaboraram um quadro onde os mesmos listam os experimentos associados a conteúdos de termodinâmica trabalhados, como se vê a seguir:

Figura 1 - Experimentos abordando conceitos de Termodinâmica

Experimentos	Conceitos abordados						
	Calor	Temperatura	Condução	Convecção	Radiação	Densidade	Pressão
A garrafa que encolhe ^(a)	X	X					X
Balão a prova de fogo	X	X	X				X
Balão na garrafa	X	X		X			
Barquinho à vapor	X	X	X				
Barra de alumínio	X	X	X				
Fonte de Água quente	X	X	X	X		X	
Lâmpada de lava ^(b)	X	X		X	X	X	
Maquina à vapor	X	X	X				X
O Gênio da garrafa	X	X				X	
Queimando dinheiro	X	X	X				
Termômetro de galileu	X	X	X				X
Termômetros e escalas	X	X	X				

Fonte: (Rocha & Dickman, 2016, p. 75) Todos os experimentos podem ser encontrados no site www.feiradeciencias.com.br/sala08/index8.asp ;

(a) <http://educador.brasilecola.com/estrategiasensino/amassando-garrafa.htm>

(b) <http://educador.brasilecola.com/estrategiasensino/fazendo-uma-lampada-lava.htm>
(notas dos autores)

Vemos no quadro acima, que um dos experimentos citados faz referência à máquina à vapor. Sobre máquinas térmicas, para usarmos um conceito mais abrangente, temos outros artigos e trabalhos, inclusive algumas dissertações, que falam sobre a utilização de pequenos motores, muitas vezes feitos com materiais de baixo custo, os chamados motores caseiros, usados em atividades experimentais voltadas para o ensino de termodinâmica.

Dentre os motores usados como modelos didáticos para o ensino de termodinâmica por meios da atividade experimental, um que tem recebido um destaque especial são os chamados motores *Stirling*. Podemos citar Barros (2005), Assis, Amorim & Carvalho (2009), Schulz (2009), Oliveira (2016), Bolzan et al. (2017), Grasselli (2018), entre outros autores que enfatizam a construção e utilização de motores *Stirling* para ser uma ferramenta motivadora para a aprendizagem dos conteúdos de termodinâmica.

Assis, Amorim & Carvalho (2009) propõem a utilização do motor *Stirling* buscando uma abordagem onde os conceitos de termodinâmica estejam articulados, de modo que contemplem as mais diferentes áreas do conhecimento, tendo como objetivos principais o desenvolvimento das competências e habilidades preconizadas pelos PCN para o Ensino médio para o ensino de termodinâmica estes autores destacam: “Investigação e compreensão relativas aos conceitos da termodinâmica e sua articulação com conhecimentos de outras áreas do saber científico; Contextualização sociocultural associada ao tema. (ASSIS, AMORIM & CARVALHO, 2009, p. 219)

Um alerta que Bolzan et al. (2017) fazem é que, apesar de termos na vida cotidiana de nossos alunos uma enorme gama de máquinas térmicas, a análise de seu trabalho revelou que boa parte dos estudantes pesquisados afirmou desconhecer o que era uma máquina térmica, o que mostra, segundo os autores, que mesmo nos dias de hoje, ainda há um grande distanciamento entre a física ensinada nas nossas escolas e o cotidiano dos nossos estudantes.

Uma alternativa na tentativa de sanar esse grande distanciamento é a busca de abordagens onde se lance mão do diálogo, da problematização em sala de aula, da utilização de atividades experimentais, ou seja, abordagens onde o estudante seja colocado dentro do processo de construção do conhecimento, de modo a potencializar o processo de ensino aprendizagem, fazendo com que ela seja realmente significativa para o estudante.

Pensando nessas colocações foi que surgiu a ideia de, em nosso trabalho, partimos de uma montagem experimental que estivesse voltada para a utilização de materiais de baixo custo, acessíveis aos estudantes e, a partir da construção de um motor *Stirling* artesanal, fazer com que, ao manipularem seu “aparato experimental”, como protagonistas da ação, os estudantes possam buscar soluções que visem a vencer o confronto entre suas concepções prévias e o que é ciências em relação aos conceitos abordados na atividade experimental proposta.

Para tanto, buscamos ter como uma referência para nossa intervenção no tocante à essa atividade o que nos sugerem Saraiva-Neves, Caballero & Moreira (2006) ao se referirem a aspectos que devem ser levados em consideração para que tenhamos uma aprendizagem satisfatória ao se lançar mão da atividade experimental:

- as tarefas propostas devem ser motivadoras, podendo assumir a forma de problemas abertos, promovendo a discussão e desafiando o pensamento crítico dos alunos e permitindo-lhes dar asas à sua criatividade;
- os materiais curriculares devem ser pensados e elaborados tendo em conta os conhecimentos que os alunos já possuem e as aprendizagens que se pretendem promover, fazendo-os refletir sobre os conceitos e suas relações;
- os professores devem ser sensibilizados para postura diferente em relação ao que é Ciência e fazer Ciência, ultrapassando um posicionamento empirista da resposta única e correta;
- as escolas devem assegurar as condições físicas e temporais que permitam uma boa inter-relação teoria/prática, no ensino das ciências.” (SARAIVA-NEVES, CABALLERO & MOREIRA, 2006, P. 399)

Tendo essas referências como suporte para a nossa proposta de intervenção, onde a atividade experimental tem como foco a alavancagem de organizadores prévios para o estudo de termodinâmica, onde os estudantes serão os atores principais da ação proposta, ficando para o professor o papel de mediador das atividades.

Para dar suporte a essa ação, tomamos como um referencial a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, dando ao nosso trabalho o papel de ser uma proposta de intervenção no processo de ensino aprendizagem do conteúdo de termodinâmica, tendo a atividade experimental com material de baixo custo como pano de fundo, e atuação ativa do aluno durante o processo de construção do conhecimento.

Como bem nos colocam Saraiva-Neves, Caballero & Moreira (2006) ao analisarem tal teoria, tomando a mesma como um referencial para o Trabalho Experimental (chamado pelos autores de TE):

“Apesar de defensor do ensino receptivo, reconhece vantagens no ensino por descoberta, apontando alguns aspectos positivos para o recurso ao laboratório desde que este não seja utilizado de forma rotineira e redutora, admitindo que o TE tem potencialidades, proporcionando aos alunos oportunidade de se relacionarem com os processos científicos.” (SARAIVA-NEVES, CABALLERO & MOREIRA, 2006, P. 386)

Segundo esses autores, se quisermos que nossos alunos consigam aprender significativamente se faz necessário propiciar aos mesmos “situações problemáticas que ajudem na construção de significados dos conceitos envolvidos.” (SARAIVA-NEVES, CABALLERO & MOREIRA, 2006, P. 399)

Para eles, o empenho dos alunos em atividades que sejam permeadas pelas diversas fases da investigação científica como planejamento, proposta de hipóteses

explicativas e execução, bem como a discussão entre seus pares e o professor, são de extrema importância para a construção do conhecimento.

2.5 A Aprendizagem Significativa de David Ausubel

A busca pela educação de qualidade faz com que surjam estudos e pesquisas que procuram atrelar a ação pedagógica a alguma teoria de aprendizagem, teorias estas que, sendo fruto da construção humana, buscam sistematizar as diversas áreas do conhecimento de modo a culminarem com uma aprendizagem satisfatória, capaz de propiciar o desenvolvimento intelectual dos estudantes, bem como na formação de cidadãos críticos e atuantes.

Desse modo, podemos afirmar que as teorias de aprendizagem buscam mecanismos para sistematizar a ação docente de modo a oportunizar ao estudante condições de desenvolver seu potencial cognitivo.

Assim, em um contexto formal, podemos afirmar que, com a utilização das teorias de aprendizagem, será oportunizado ao estudante condições para que este possa vivenciar todas as etapas do seu desenvolvimento.

A respeito das teorias de aprendizagem optamos, em nosso trabalho, pela Teoria da Aprendizagem Significativa de David Paul Ausubel, pois conseguimos vislumbrar nesta teoria direcionamentos que servem para embasar o nosso propósito que é o foco na atividade experimental e, nos apoiando no posicionamento de Saraiva-Neves, Caballero & Moreira (2006) que, ao citarem vários estudos, são categóricos em afirmar ser esta teoria um modelo promissor na epistemologia e na didática com foco no trabalho experimental.

Estes autores afirmam, ao citarem Ausubel, que o grande objetivo da educação formal se baseia na organização da informação para os estudantes, de modo que a exposição das ideias se dê de forma clara e precisa, facilitando a sua aquisição de forma significativa, dando condições para “o surgimento de significados que possam ser retidos por longos períodos de tempo como um conjunto de conhecimentos organizados.” (SARAIVA-NEVES, CABALLERO & MOREIRA, 2006, P. 399)

Para Moreira (2011) a atenção de Ausubel está constantemente focada na aprendizagem, tal como ela se dá, no cotidiano da grande maioria das escolas. Para ele, continua Moreira (2011), o fator isolado que mais influencia na aprendizagem é o

que o aluno já sabe, ficando delegada ao professor a incumbência de identificar esse conhecimento e ensinar de acordo com o mesmo.

A Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, parte do pressuposto de que as ideias expressas simbolicamente pelo estudante interagem de maneira substantiva e não-arbitrária com o que ele já sabe.

Ainda segundo Ausubel (2003), a “substantividade” ressoa como não-litera, que pode assumir outras vertentes, outro sentido, diferente do formal; a “não-arbitrária” consiste em uma compreensão de que a interação das ideias com os conhecimentos relevantes presentes na estrutura cognitiva do estudante não acontece de maneira aleatória, mas com algum conhecimento já presente em sua estrutura cognitiva.

Para este autor, esse conhecimento, que apresenta significativa relevância para que a nova aprendizagem seja assimilada, que pode ser algo já significativo para o estudante, como um conceito, um modelo mental, uma imagem, etc., é chamado de subsunçor ou ideia-âncora.

De uma maneira mais simples, conforme nos diz Moreira (2010), subsunçor é o nome dado a um determinado conhecimento específico que, já existindo na estrutura cognitiva do conhecimento do indivíduo, permite dar significado a um novo conhecimento apresentado ou descoberto por esse indivíduo. Tanto por recepção quando por descobrimento, continua Moreira (2010), para que ocorra a atribuição de significados a novos conhecimentos se faz necessário a existência de conhecimentos prévios que sejam especificamente relevantes e que tenham interação com eles.

Ainda sobre as características de um subsunçor, Moreira (2010) faz um alerta:

“A clareza, a estabilidade cognitiva, a abrangência, a diferenciação de um subsunçor variam ao longo do tempo, ou melhor, das aprendizagens significativas do sujeito. Trata-se de um conhecimento dinâmico, não estático, que pode evoluir e, inclusive, involuir. (MOREIRA, 2010, P. 4)

Ausubel traz uma nova maneira de se pensar a aprendizagem quando afirma que o aprendente deve buscar a relação entre si próprio e os conceitos apreendidos.

Nas palavras de Ausubel (2003):

“É importante reconhecer-se que a aprendizagem significativa não implica que as novas informações formem um tipo de ligação simples com os elementos preexistentes na estrutura cognitiva. Pelo contrário, só na aprendizagem por memorização ocorre uma ligação simples, arbitrária e não

integradora com a estrutura cognitiva preexistente. Na aprendizagem significativa, o mesmo processo de aquisição de informações resulta numa alteração quer das informações recentemente adquiridas, quer do aspecto especificamente relevante da estrutura cognitiva, à qual estão ligadas as novas informações. Na maioria dos casos, as novas informações estão ligadas a um conceito ou proposição específicos e relevantes.” (AUSUBEL, 2003, P. 3)

Para que a aprendizagem seja significativa, segundo Ausubel, se faz necessário o uso de determinados materiais simbólicos que sejam considerados adequados para tal aprendizagem, sustentados na não-arbitrariedade e não-literalidade, de modo que possam facilitar o entrelaçamento do novo conhecimento com conhecimento prévio que o aprendiz já possui.

De acordo com Ausubel (2003) tais materiais de aprendizagem, chamados de potencialmente significativos, precisam estar relacionados de forma não arbitrária (*plausível, sensível e não aleatória*) e não literal com qualquer estrutura cognitiva apropriada e relevante (*que possui significado lógico*) e “que a estrutura cognitiva do aprendiz contenha ideias ancoradas relevantes, com as quais se possa relacionar o novo material. (AUSUBEL, 2003, p.1) [grifos do autor]

Moreira (2011) destaca que um determinado material deve ser considerado “potencialmente significativo” e não “significativo” pois, para ele, não existe livro significativo, nem aula significativa, nem problema significativo; segundo o autor, o significado é encontrado nas pessoas e não nos materiais. É o aluno, continua Moreira (2011), que atribui significados aos materiais de aprendizagem e tais significados atribuídos nem sempre são aqueles aceitos no contexto da matéria de ensino.

O que se espera, de maneira geral, é que o aluno atribua aos novos conhecimentos advindos dos materiais de aprendizagem significados que sejam aceitos no contexto da matéria de ensino, mas para que isso ocorra, nos diz Moreira (2011), há necessidade de se ter um intercâmbio, de uma negociação de significados, que nem sempre é célere.

Moreira (2006), ao se referir às condições necessárias para que ocorra a aprendizagem significativa, afirma que uma destas condições reside no fato de que o “material a ser aprendido seja relacionável (ou incorporável) à estrutura cognitiva do aprendiz, de maneira não arbitrária e não literal”(MOREIRA, 2006, p. 19). Um material que se adequa a essas condições é chamado de Potencialmente Significativo, complementa o autor.

2.5.1 Tipos de Aprendizagem Significativa

Moreira (2010) destaca que existem três tipos de aprendizagem significativa: representacional, de conceitos e proposicional. A seguir, listamos as características de cada uma delas, tomando por base o que nos diz Moreira (2010):

- Aprendizagem Representacional: refere-se ao tipo mais básico de aprendizagem significativa, mas os demais tipos dependem deste. Para Moreira (2010) podemos assim definir Aprendizagem Representacional:

“Aprendizagem representacional é a que ocorre quando símbolos arbitrários passam a representar, em significado, determinados objetos ou eventos em uma relação unívoca, quer dizer, o símbolo significa apenas o referente que representa.” (MOREIRA, 2010, p. 16)

Ou seja, a aprendizagem representacional envolve a atribuição de significados a determinados símbolos, tipicamente palavras. Há a identificação desses símbolos com o que eles se referem (objetos, eventos, conceitos). Nessa fase, os símbolos passam a significar, para o aprendente, o que significam os seus referentes.

Moreira (2010) ainda chama a atenção para proximidade entre Aprendizagem Representacional e a aprendizagem mecânica, destacando ser a Aprendizagem Representacional significativa por ter o símbolo como um referente concreto ao passo que na aprendizagem mecânica a relação símbolo-objeto/evento é meramente associativa.

- Aprendizagem Conceitual ou de Conceitos: apresenta uma profunda relação com a aprendizagem representacional. Para Moreira (2010 p. 16) “conceitos indicam regularidades em eventos ou objetos.”.

Moreira (2010) nos diz que:

“A aprendizagem conceitual ocorre quando o sujeito percebe regularidades em eventos ou objetos, passa a representá-los por determinado símbolo e não mais depende de um referente concreto do evento ou objeto para dar significado a esse símbolo. Trata-se, então, de uma aprendizagem representacional de alto nível.” (MOREIRA, 2010, p. 16)

Nesse tipo de aprendizagem os conceitos também são representados por símbolos particulares sendo, porém, genéricos ou categóricos, representando abstrações dos atributos essências dos referentes, buscando representar regularidades em eventos ou objetos.

- **Aprendizagem Proposicional:** neste tipo de aprendizagem o foco é aprender o significado de ideias em forma de proposição e não aprender significativamente o que palavras isoladas ou combinadas representam, como é preconizado na aprendizagem representacional. Generalizando, podemos dizer que as palavras combinadas, ao constituírem uma proposição, representam conceitos. Aqui o objetivo não é aprender o significado dos conceitos, mas sim aprender o significado do que está além dos significados das palavras ou conceitos presentes na proposição.

Para Moreira (2010) :

“A aprendizagem proposicional, implica dar significado a novas ideias expressas na forma de uma proposição. As aprendizagens representacional e conceitual são pré-requisito para a proposicional, mas o significado de uma proposição não é a soma dos significados dos conceitos e palavras nela envolvidos.” (MOREIRA, 2010, p. 16)

2.5.2 O uso de organizadores prévios na aprendizagem significativa

Segundo Ausubel (2003), um organizador avançado, ou organizador prévio como é mais comumente utilizado, é um mecanismo pedagógico cuja função é ajudar na implementação da aprendizagem significativa, “estabelecendo uma ligação entre aquilo que o aprendiz já sabe e aquilo que precisa de saber, caso necessite de apreender novos materiais de forma mais ativa e expedita.” (AUSUBEL, 2003, p. 11)

Para este autor a situação em que o uso do organizador prévio se faz desejável e potencialmente eficaz ocorre quando:

“as ideias relevantes existentes na estrutura cognitiva são demasiado gerais e não possuem uma particularidade de relevância e de conteúdo suficientes para servirem como ideias ancoradas eficientes relativamente às novas ideias introduzidas pelo material de instrução em questão.” (AUSUBEL, 2003, p. 11)

Podemos afirmar então que o organizador prévio possui o papel de mediador, “sendo mais relacional e relevante para o conteúdo *particular* da tarefa de aprendizagem significativa, por um lado, e para com o conteúdo mais *geral* das ideias potencialmente ancoradas, por outro.” (AUSUBEL, 2003, p. 11) [grifos do autor]

O organizador prévio tem função também de facilitar a alteração destas ideias, direcionando as mesmas para o conteúdo particular da matéria que se deseja

apreender, como resultado do fato de o aprendiz tê-las estudado antes da matéria de aprendizagem, conclui o autor.

Para que funcione com a maior variedade possível de estudantes, onde cada um possui uma estrutura cognitiva própria e particular, inerente a cada um dos indivíduos envolvidos, e venha fornecer ou alterar ideias já ancoradas a um nível subordinante, deve-se “apresentar organizadores a um nível mais elevado de abstração, generalidade e inclusão do que os novos materiais a serem apreendidos”. (AUSUBEL, 2003, p. 11)

Sobre os organizadores prévios, MOREIRA (2006) afirma que eles servem “de ancoradouro para o novo conhecimento e levam ao desenvolvimento de conceitos subsunçores que facilitem a aprendizagem subsequente.” (MOREIRA, 2006, p. 23)

Sobre a função dos organizadores prévios, Moreira (2003) nos alerta que estes:

“Não são, portanto, sumários, introduções ou “visões gerais do assunto”, os quais são, geralmente, apresentados no mesmo nível de abstração, generalidade e inclusividade do material que os segue, simplesmente destacando certos aspectos.” (MOREIRA, 2006, p. 23)

Moreira (2006) ainda destaca algumas possíveis maneiras de se utilizar os organizadores prévios:

“Cabe, todavia, registrar aqui que os organizadores prévios não, necessariamente, são textos escritos. Uma discussão, uma demonstração, ou, quem sabe, um filme ou um vídeo podem funcionar como organizador, dependendo da situação da aprendizagem.” (MOREIRA, 2006, p. 24)

Moreira (2008) afirmar que os organizadores prévios devem buscar deixar explícita a relação existente entre os novos conhecimentos e os conhecimentos que o estudante já possui, mas não consegue perceber que existe uma relação entre eles.

Para ele, organizadores prévios servem para facilitar a aprendizagem, posto que funcionam como pontes cognitivas.

Ele ainda destaca que:

Na verdade, é muito difícil dizer se um determinado material é ou não um organizador prévio, pois isso depende sempre da natureza do material de aprendizagem, do nível de desenvolvimento cognitivo do aprendiz e do seu grau de familiaridade prévia com a tarefa de aprendizagem.

Para Ausubel (2003, p. 12), a fundamentação lógica que serve de suporte para a utilização dos organizadores prévios tem por base, essencialmente:

1. A importância de se ter ideias relevantes, estabelecidas, já disponíveis na estrutura cognitiva do aprendente, de modo que as novas ideias “logicamente” significativas e tornem “potencialmente” significativas e que estas, se tornem “realmente” significativas, ou seja, possuam novo significado, para que com isso possam favorecer uma ancoragem estável.

2. As vantagens de, ao lançar mão de ideias mais gerais e inclusivas de uma determinada disciplina na estrutura cognitiva do aprendente, tidas como ideias ancoradas ou subsunçores, que foram alteradas de forma tal para que se dê uma maior particularidade de relevância para o material de instrução, podendo com isso dar uma maior estabilidade, poder de explicação e capacidade integradora.

3. Ao fato de que os próprios organizadores buscarem identificar um conteúdo relevante que já se encontre na estrutura cognitiva, estando explicitamente relacionados com esta, indicando de maneira explícita o grau de relevância quer seja do conteúdo já existente ou destes para com o novo material de aprendizagem.

Sendo assim, Ausubel (2003) nos recomenda que um organizador prévio deve ser apresentado ao estudante antes que se faça o confronto do mesmo com o próprio material de instrução. Para ele, além de ser mais geral, inclusivo e abstrato do que as ideias de aprendizagem que o mesmo precede, deve também levar em consideração as ideias potencialmente relevantes existentes na estrutura cognitiva do aprendente, de modo que possibilite a aprendizagem e possa, também, mobilizar de forma explícita todo o conteúdo que seja considerado relevante e que já se encontre disponível nessa estrutura.

Moreira (2008, pp. 2-3), fazendo referência a como e quando se usar os organizadores prévios, nos diz que quando o material for “totalmente não familiar” deve se lançar mão de um organizador “expositivo”, elaborado em torno do que o estudante já possui de outras áreas de conhecimento, a fim de que seja usado com a função de suprir a falta de conceitos, ideias ou proposições que apresentem relevância de modo que ocorra a aprendizagem desse material e sirva como “ponto de ancoragem inicial”, destaca o autor. Já quando o material for relativamente familiar, continua o autor, deve-se fazer uso de um organizador “comparativo” de modo que possa integrar e discriminar os novos conceitos, ideias ou proposições que já permeiem a estrutura cognitiva do aprendente.

Moreira (2008) também destaca que os organizadores prévios não se resumem a simples comparações introdutórias pois, de acordo com ele, os organizadores prévios devem:

1. identificar o conteúdo relevante na estrutura cognitiva e explicar a relevância desse conteúdo para a aprendizagem do novo material;
2. dar uma visão geral do material em um nível mais alto de abstração, salientando as relações importantes;
3. prover elementos organizacionais inclusivos que levem em consideração, mais eficientemente, e ponham em melhor destaque o conteúdo específico do novo material, ou seja, prover um contexto ideacional que possa ser usado para assimilar significativamente novos conhecimentos. (MOREIRA, 2008, p. 3)

Ao concluir, Moreira (2008) reitera a função dos organizadores prévios na aprendizagem significativa, lembrando que os mesmos são materiais instrucionais que devem ser utilizados antes dos materiais de aprendizagem propriamente ditos, sempre trazendo um nível mais elevado de abstração, generalidade e inclusividade. Tais materiais podem ser um enunciado, uma pergunta, uma demonstração, um filme, etc. ou até mesmo uma aula que funcione como pseudo-organizador para toda uma unidade de ensino, nas palavras do próprio autor, ou até mesmo um capítulo que possa ser usado de modo a facilitar a aprendizagem de vários outros capítulos em um livro. Até porque não é a forma do organizador que importa, mas a função que este vai desempenhar como estratégia para privilegiar a aprendizagem significativa.

Os organizadores prévios desempenham sua principal função quando conseguem mostrar que os novos conhecimentos a serem adquiridos possuem relação com conhecimentos presentes na estrutura cognitiva do aprendente, buscando mostrar ao mesmo que existe relação entre o que o mesmo já sabe e o que irá apreender, como nos diz Moreira (2010). Para ele, é função primordial dos organizadores prévios ajudar o aprendente na percepção de que novos conhecimentos possuem relação com ideias apresentadas anteriormente, ou seja, a subsunções que já existem em sua estrutura cognitiva prévia.

Esta última análise nos permite concluir que, de acordo com a aprendizagem significativa de Ausubel, o estudante aprende a partir do que ele já conhece, a partir do que sua estrutura cognitiva já apreendeu, ou seja, seus conhecimentos prévios, que estando organizados num certo nível hierárquico, de tal modo que, como nos diz Moreira (2010, p. 18) se constituem na principal variável que vai influenciar para que a aprendizagem de novos conceitos seja significativa.

Por tudo isso que foi exposto, optamos pela Aprendizagem Significativa de David P. Ausubel como referencial teórico no que diz respeito à metodologia usada, haja vista que o tema de nosso trabalho é exatamente o uso de uma atividade experimental como organizador prévio para o estudo de Termodinâmica.

Esta escolha foi feita por acreditarmos que a teoria de aprendizagem proposta por Ausubel tem contribuição relevante para os processos de construção do conhecimento pois, como já foi dito, ela busca envolver a estrutura cognitiva do aprendente usando seus subsunçores como uma ponte que serve de intermediação entre os novos conhecimentos a serem apreendidos e os conhecimentos já adquiridos em uma troca cognitiva de informações. Acreditamos que abordagem tende a potencializar o grau de interesse e satisfação do aprendente diante dos desafios e conflitos gerados nas diferentes áreas do conhecimento.

3 AS LEIS DA TERMODINÂMICA

Ao analisarmos as Orientações Educacionais Complementares dos PCN, para os estudos sobre Calor é imprescindível que se identifique as fontes deste, os processos de troca de calor, as propriedades térmicas dos materiais, bem como os processos de transformação de energia nos processos naturais ou tecnológicos (Brasil, 2002).

Está escrito nessas orientações que:

“O estudo do calor será importante para desenvolver competências que permitam lidar com fontes de energia, processos e propriedades térmicas de diferentes materiais, permitindo escolher aqueles mais adequados a cada tarefa. (...) Acompanhando a evolução do trabalho humano ao longo da história, haverá que saber reconhecer a utilização do calor para benefício do homem, em máquinas a vapor ou termelétricas, ou o calor como forma de dissipação de energia, impondo limites às transformações de energia e restringindo o sentido do fluxo de calor. Nesse contexto, será ainda indispensável aprofundar a questão da *produção* e utilização de diferentes formas de energia em nossa sociedade, adquirindo as competências necessárias para a análise dos problemas relacionados aos recursos e fontes de energia no mundo contemporâneo, desde o consumo doméstico ao quadro de produção e utilização nacional, avaliando necessidades e impactos ambientais. Assim, *calor, ambiente, fontes e usos de energia* sinalizam, como tema estruturador, os objetivos pretendidos para o estudo dos fenômenos térmicos.” (BRASIL, 2002, pp. 69-70) [grifos dos autores]

Segundo essas orientações, o estudo do calor tem sua relevância ao desenvolver competências necessárias para que, acompanhando a evolução do trabalho humano ao longo da história, saibam reconhecer a importância da utilização do calor para o benefício do homem ou ainda o calor como uma forma de dissipação de energia que impõe limites às transformações de energia e que restringe o sentido do fluxo de calor.

Os chamados “fenômenos térmicos” são eventos que fazem parte de nosso cotidiano e, devido a isso, possuem uma grande contribuição para o que chamamos de senso comum. As alterações da temperatura ambiente e no tempo e a consequentes sensações térmicas a que diariamente estamos sujeitos, a preparação dos alimentos nas cozinhas de nossas casas, etc. são situações que servem para ilustrar tais fenômenos. Além desses fenômenos mais “caseiros” podemos perceber tais fenômenos nos automóveis, os refrigeradores, aparelhos de ar-condicionado, entre outros são exemplos que servem para mostrar o quanto importante o estudo desses fenômenos quando nos referimos ao estudo da Termodinâmica.

Tomando por base o que afirmam Halliday, Resnick & Walker (2016), podemos dizer que Termodinâmica é a parte da física que, com o estudo dos princípios que regem as relações entre calor, trabalho e outras formas de energia, se constitui como um dos principais ramos da física e da engenharia, tendo como ponto central o conceito de temperatura. Para estes autores, a palavra Termodinâmica nos é tão familiar, devido principalmente às sensações de quente e frio em nosso corpo, que sugere uma excessiva confiança no que se refere ao seu significado. A aplicação da Termodinâmica, segundo os autores, tanto nas ciências quanto nas tecnologias é ampla, desde a indústria automobilística, passando pela indústria alimentícia, agricultura, meteorologia e até mesmo na medicina.

Já Oliveira (2012, p. 12) se apega a visão na qual “a ciência da termodinâmica diz respeito ao estudo das propriedades macroscópicas dos corpos a partir de leis fundamentais também macroscópicas”.

Buscando trazer o conhecimento de Termodinâmica, devemos enunciar alguns conceitos básicos: **Temperatura**, **Calor** e **Energia Interna**. Para tanto, usaremos como referência as falas de autores como Halliday, Resnick & Walker (2016) e Oliveira (2012).

Halliday, Resnick & Walker (2016) afirmam que **Temperatura** é uma grandeza que está diretamente relacionada com as nossas sensações de calor e frio. Para sua mensuração, continuam os autores, usamos um instrumento chamado termômetro, que possui uma substância com propriedade mensurável, que apresentam uma variação regular quando esta substância é aquecida ou resfriada.

Temperatura é uma das sete grandezas fundamentais do Sistema Internacional de Unidades (SI), onde neste, esta grandeza é medida em kelvins (K). Halliday, Resnick & Walker (2016) lembram que, apesar de não existir um limite superior para a medição da temperatura, existe um limite inferior para a mesma, onde para esse limite foi atribuído o zero na escala Kelvin (0 K), também conhecido como Zero Absoluto.

Para esses autores o que nós chamamos de Energia Térmica de um objeto, na realidade, trata-se da **Energia Interna** desde que consiste nas energias cinética e potencial que estão associadas aos movimentos aleatórios dos átomos, moléculas e outros corpos microscópicos que existem no interior deste objeto.

Para **Calor** podemos usar uma definição mais comum que define como sendo transferência de energia térmica de forma espontânea entre dois corpos que, estando

em contato, apresentem temperaturas diferentes. Cabe ainda destacar que essa transferência de energia térmica se dá, de forma espontânea, do corpo de maior temperatura (maior energia) para o de menor temperatura (menor energia), podendo acontecer o fluxo no sentido inverso, porém não de forma espontânea.

Podemos perceber facilmente os efeitos do calor em nosso cotidiano como, por exemplo, na sensação de frio que sentimos ao passar álcool nas mãos, a água que se aquece numa panela, ao receber calor da chama do fogão, a água de um copo que esfria quando colocada no interior de uma geladeira, entre outros. Percebemos essas alterações de temperatura devido à mudança de energia térmica do sistema, devido às trocas de energia entre o sistema e o ambiente. Essas trocas de energia são chamadas de **Calor**.

Vale destacar, como nos mostram Luz & Álvares (2008), que quem introduziu a ideia de calor como energia foi Benjamin Thompson, o “Conde de Rumford” como ficou mais conhecido. Foi Rumford, um engenheiro militar, que em 1798, enquanto trabalhava na perfuração de canos de canhão, ao observar o aquecimento das peças ao serem perfuradas, teve a ideia de atribuir esse aquecimento trabalho que era realizado devido o atrito durante a perfuração. Ou seja, Rumford observou que a energia empregada na realização desse trabalho era transferida para a peça, tendo como consequência o aquecimento da mesma. Portanto, a ideia de que um corpo a uma maior temperatura possuía maior quantidade de “calórico” começava a ser substituída pela ideia que esse corpo, na realidade, possuía maior quantidade de energia em seu interior.

O calor, por se tratar de uma modalidade de energia tem, no Sistema Internacional de Unidades (SI), o joule (J) como unidade de medida. Uma outra unidade de medida comumente usada para medir calor é a caloria (cal), que não é uma unidade de medida pertencente ao SI. Segundo Halliday, Resnick & Walker (2016, p. 431), quando ainda não se havia percebido o calor como energia transferida, este era medido por sua capacidade de aumentar a temperatura de certa quantidade de água. Sendo assim, a caloria (cal) foi definida como a quantidade de calor necessária para aumentar a temperatura de 1 g de água de 14,5°C para 15,5°C.

Oliveira (2012, p. 19) relata que a definição de caloria como unidade de medida ocorreu antes do desenvolvimento de termodinâmica, quando calor ainda não estava relacionado ao trabalho, ou seja, não era considerado como energia. Há essa

época, relata o autor, o método mais comum para medir calor num determinado processo era compará-lo com a quantidade necessária para elevar de uma unidade de temperatura uma determinada quantidade de água. Outro método usado para medir calor, continua o autor, era o usado por Lavoisier e Laplace, onde o calor desenvolvido num determinado sistema era associado à quantidade de gelo que tal calor poderia derreter. Oliveira (2012, p. 19) destaca ainda que “o primeiro método está ligado ao calor específico da água e o segundo, ao calor latente de fusão do gelo”.

A partir da análise destes conceitos, que consideramos ser o ponto de partida para que possamos trazer para a nossa discussão os enunciados para as Leis da Termodinâmica.

A seguir detalharemos o estudo destas leis bem como os demais conceitos que estão associados às mesmas.

3.1 Lei Zero da Termodinâmica

O primeiro desses enunciados refere-se a chamada **Lei Zero da Termodinâmica**. Esta lei se refere ao conceito de **Equilíbrio Térmico**.

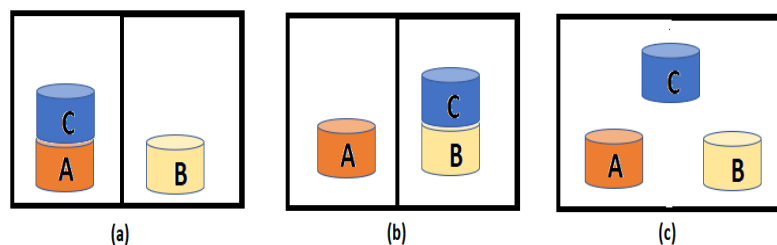
Sobre equilíbrio térmico, Oliveira (2012, p. 12) nos diz que “se diversos corpos estiverem em contato térmico entre si, eles estarão em equilíbrio térmico se todos tiverem a mesma temperatura.”

Uma visão mais simplista, podemos dizer que dois ou mais corpos vão estar em equilíbrio térmico quando estiverem a uma mesma temperatura. Esta visão é uma representação geralmente usada para uma definição para a Lei Zero da Termodinâmica.

Já em Halliday, Resnick & Walker (2016, p. 415), temos a seguinte definição para esta lei: “Se dois corpos A e B estão separadamente em equilíbrio térmico com um terceiro corpo T, então A e B estão em equilíbrio térmico entre si.”

De acordo com esses autores, de maneira genérica, podemos dizer: se em um sistema termicamente isolado tivermos um corpo A em equilíbrio térmico com um corpo C, e esse corpo C está em equilíbrio térmico com um corpo B, podemos concluir que o corpo B está em equilíbrio térmico com o corpo A. A Figura 2, a seguir, nos mostra esquematicamente o pensamento destes autores.

Figura 2: Desenho esquemático representando A Lei Zero da Termodinâmica. O que nos diz a Lei Zero da Termodinâmica: Temos que: A, B e C, indicam, respectivamente, os corpos cujas temperaturas são T_A , T_B e T_C que estão sendo analisados. Em (a) temos $T_A = T_C$; em (b) temos $T_B = T_C$ e, por último em (c), $T_A = T_B = T_C$. Os quadros em preto indicam o isolamento térmico.



Fonte: Adaptada pelo autor, tomando por base a referência de Halliday, Resnick & Walker (2016)

Portanto temos, para um sistema termicamente isolado a **chamada Lei Zero da Termodinâmica**, que foi formulada tardiamente, na década de 1930, nos diz, em termos mais gerais que, nas palavras de Halliday, Resnick & Walker (2016, p. 416), “todo corpo possui uma propriedade chamada *temperatura*; quando dois corpos estão em equilíbrio térmico suas temperaturas são iguais e vice-versa”.

Como esta lei foi enunciada muito depois da Primeira e da Segunda Leis da Termodinâmica terem sido descobertas e enumeradas, mas, como o conceito de temperatura é de extrema importância para estas leis, a lei que estabelece a temperatura como um conceito válido passou a se chamar de Lei Zero, com uma numeração à menor, para lembrar da relevância do conceito de temperatura para as outras duas leis

Na Figura 3 a seguir, podemos visualizar um mapa conceitual onde temos de maneira relativamente simples e com referência a uma situação cotidiana, uma interpretação para a Lei Zero da Termodinâmica:

Figura 3: Mapa conceitual representando a Lei Zero da Termodinâmica.



Fonte: <https://becodafisica.blogspot.com/2015/09/lei-zero-da-termodinamica.html>

3.2 Primeira Lei da Termodinâmica

Apesar dos avanços propostos pelas teorias, coube aos cientistas experimentais que, em seu empenho em desenvolver a termodinâmica, assumiram o papel de esclarecer a natureza do calor, que até então era considerado como uma substância material, o “calórico”, passando então a associar a este o conceito de energia. Este fato pode ser considerado como o início da termodinâmica e tem estreita relação com o hoje é tratada como a Primeira Lei da Termodinâmica.

Podemos dizer que a termodinâmica, tida como ciência, foi fundada logo depois que se deu a formulação do princípio de conservação da energia, por volta da segunda metade do século XIX, de maneira independente, por Clausius, na Alemanha, e por William Thompsom (Lord Kelvin) na Escócia.

É importante ressaltar que, como relata Silva (2012), os princípios que hoje são conhecidos como Primeira e Segunda Leis da Termodinâmica já haviam sido relatados por Sadi Carnot em seus manuscritos, mas que só após sua morte, foram descobertos e publicados Lord Kelvin em um artigo em 1849.

A Primeira Lei da Termodinâmica é, em uma forma mais simples de se enunciar, a confirmação do princípio de conservação da energia para um processo termodinâmico qualquer.

Oliveira (2012, p. 21) nos lembra que o Princípio de Joule ou Princípio de Conservação da Energia afirma que “a energia de um estado de equilíbrio independe do processo utilizado para atingi-lo”.

Para este autor o Princípio de Joule, também denominado de Princípio da Conservação da Energia, constitui a Primeira Lei da Termodinâmica. Ele relata que, apesar de ser estabelecida por vários cientistas, onde ele destaca Mayer e Joule, que consideraram “que as diversas formas de trabalho poderiam ser convertidas umas nas outras e que, além disso, todas elas poderiam ser dissipadas na forma de calor.” (OLIVEIRA, 2012, p. 22)

O autor destaca ainda que após exaustivas verificações experimentais desses cientistas, eles verificaram que uma determinada quantidade de trabalho sempre se transformava numa mesma quantidade de calor, considerando então que houve a conservação da energia.

Para Oliveira (2012), se levarmos em consideração uma visão microscópica, é possível afirmar que o Princípio de Conservação da Energia foi proposto por

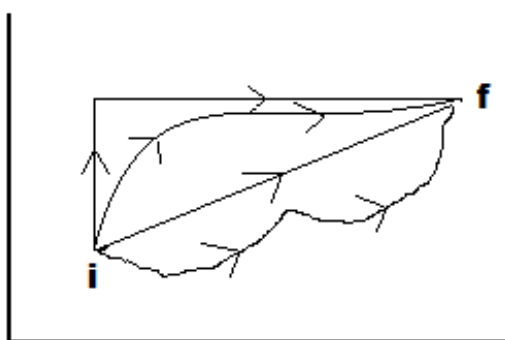
Helmholtz. Para embasar sua opinião o autor relata que, ao levar em consideração a constituição atômica da matéria, Helmholtz admitiu que a soma da energia cinética e da energia potencial dos átomos é sempre constante, constituindo-se então na Energia Interna de um corpo. Oliveira (2012, p. 22) destaca: “Quando trabalho de qualquer forma se dissipa em calor, isso significa, do ponto de vista microscópico, que os átomos ganham energia.”

Para Halliday, Resnick & Walker (2016, p. 444), a primeira lei da termodinâmica é “uma extensão da Lei de Conservação da Energia para sistemas isolados”, pois esta se aplica para os sistemas que não estão isolados. Nesse caso, continuam os autores, “a energia pode entrar ou sair do sistema na forma de trabalho (W) ou calor (Q)”.

Para exemplificar essa visão destes autores, analisemos a seguinte proposição:

Podemos imaginar os estados de um determinado sistema termodinâmico representado em um “espaço de estados”, como um plano onde cada eixo desse plano representa uma das variáveis termodinâmicas, pressão (P), volume (V) ou temperatura (T), onde cada ponto do plano representa um valor específico das duas variáveis que correspondem ao estado do sistema, como ilustrado na Figura 4 que segue.

FIGURA 4: Desenho esquemático diferentes percursos se levar de um estado inicial para um estado final. Neste desenho esquemático temos (representados pelas trajetórias) quatro diferentes trajetos para se levar de um estado inicial (i) para um estado final (f).



Fonte: Adaptada pelo autor, tomando por base imagem da Internet acessada em <http://sisne.org/Disciplinas/Grad/Fisica2FisMed/aula23.pdf>

O estudo da primeira lei da termodinâmica vai mostrar a relação entre três modalidades de energia: a Quantidade de Calor (Q) trocada pelo sistema (recebida, teremos $Q > 0$, ou cedida, nesse caso fica $Q < 0$), a variação da energia interna (ΔU), que está intimamente ligada ao estado do material (temperatura, pressão e volume) e

o trabalho termodinâmico (W) realizado (“pelo sistema”, $W > 0$, ou “sobre o sistema”, $W < 0$) ao longo de um determinado percurso. Todas estas grandezas, medidas em joules (J) de acordo com o Sistema Internacional de Unidades, por se tratarem de manifestações da grandeza Energia.

Podemos enunciar a Primeira Lei da Termodinâmica a partir da Equação 1, a seguir:

$$\Delta U = Q - W \quad (1)$$

Que, escrita na sua forma diferencial é;

$$dU = \bar{d}Q - \bar{d}W \quad (2)$$

É importante frisar que as grandezas quantidade de calor (Q) e trabalho (W) dependem dos estágios intermediários do processo, ou seja, dependem da trajetória seguida no processo; já a variação de energia interna (ΔU) depende apenas dos estados inicial e final do processo termodinâmica, não tendo dependência da trajetória.

Esta observação nos mostra que a relação $Q - W$ é a mesma independente do percurso do processo, mas cada uma dela (Q e W), individualmente, são dependentes das etapas do processo, das trajetórias ao longo do processo termodinâmico.

É importante frisar que estas grandezas estão expressas em termos matemáticos, e devido a tal motivo, os sinais (positivo ou negativo) que poderá vir acompanhando cada uma das grandezas implica em diferentes transformações como veremos a seguir.

Ao analisarmos o diagrama representado na Figura 3 podemos concluir que a variação da energia interna ΔU ao passar do estado inicial para o estado final é a mesma, sendo igual a $U_f - U_i$ (U_f = energia interna final e U_i = energia interna inicial) não depende da trajetória tomada pelo processo.

Porém, em cada trajetória diferente entre os estados inicial e final, o calor trocado e o trabalho realizado são diferentes. Mas, a soma total dos calores trocados e dos trabalhos realizados, independente das trajetórias tomadas, entre os estágios

inicial e final será sempre a mesma, confirmando então o que nos diz a Primeira Lei da Termodinâmica.

Passaremos agora a fazer uma análise das grandezas que compõem o enunciado da Primeira Lei da Termodinâmica.

3.2.1 Quantidade de calor

Para um gás, podemos definir quantidade de calor (Q), como sendo o que está representado na Equação 3:

$$Q = n \cdot c \cdot \Delta T \quad (3)$$

onde n é o número de mols, c é o calor específico molar, que pode ser c_v (calor específico a volume constante) ou c_p (calor específico a pressão constante) dependendo de como ocorra o processo.

A quantidade de calor trocada pelo sistema pode ser absorvida (recebida) ou cedida (perdida), podendo assumir os sinais:

- $Q > 0$, significa que o sistema **absorve** calor;
- $Q < 0$, significa que o sistema **cede** calor;
- $Q = 0$, significa que não há trocas de calor com o sistema, configurando uma transformação chamada de **adiabática**.

3.2.2 Trabalho termodinâmico

Está relacionado com a transferência de energia para um sistema, dependendo da força que é aplicada “pelo sistema” ou “sobre o sistema” quando um gás se expande ou se contrai. Convém salientar que o trabalho termodinâmico não tem dependência da temperatura do sistema.

Esta força é devido à pressão exercida pelo sistema contra as paredes do recipiente que o contém. De maneira que tendo:

$$P = \frac{F}{A} \quad (4)$$

onde P é a pressão, F a força aplicada perpendicularmente à área A da seção transversal; estando essa força atuando durante um certo descolamento Δx , podemos escrever:

$$F = P \cdot A \quad (5)$$

usando a definição de trabalho mecânico (W) que diz que

$$W = F \cdot \Delta x \quad (6)$$

Substituindo a Equação 5 na Equação 6 teremos:

$$W = P \cdot A \cdot \Delta x \quad (7)$$

Como o produto $A \cdot \Delta x = \Delta V$, onde ΔV significa variação de volume, podemos finalmente definir trabalho termodinâmico como sendo:

$$W = P \cdot \Delta V \quad (8)$$

Como $\Delta V = V_f - V_i$, onde V_f = volume final e V_i = volume inicial, podemos reescrever a Equação 8 como:

$$W = P \cdot (V_f - V_i) \quad (9)$$

A Equação 9 representa o trabalho termodinâmico que ocorre à pressão constante. Se aproximarmos o gráfico da Figura 5 a uma sucessão de subprocessos isobáricos, onde a variação de volume de cada um desses processos seja ΔV e chamarmos de p_i a pressão correspondente ao estado inicial para cada subprocesso, teremos então que o trabalho realizado será dado pela soma dos trabalhos correspondentes a cada subprocesso isobárico, como definido na equação abaixo:

$$W = \sum_i p_i \Delta V \quad (10)$$

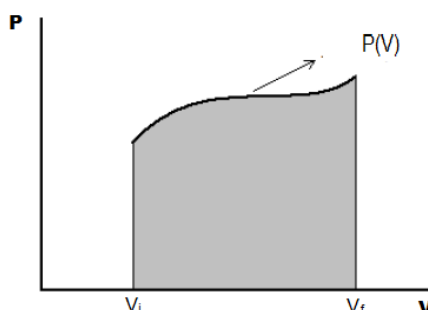
Para o limite em que o número de subprocessos aumenta sem limites, ou seja, quando $\Delta V \rightarrow 0$ o trabalho se torna igual à integral:

$$W = \int p dV \quad (11)$$

A Equação 11 nos permite fazer uma análise da situação quando a pressão do sistema termodinâmico varia. Se representarmos essa situação por meio um diagrama pressão x volume (P x V), podemos verificar uma curva P(V) que representa o resultado obtido a partir dessa equação (Equação 11). Na Figura 5 temos uma representação dessa verificação.

FIGURA 5: Desenho ESQUEMÁTICO representando um diagrama p x v, referente a um sistema termodinâmico de pressão e volumes variáveis.

A curva P(V) representa o trabalho realizado desde o volume inicial (V_i) até o volume final (V_f), onde $\int_{V_i}^{V_f} P dV$ representa a área abaixo da curva P(V) para tais volumes considerados. A área abaixo da curva P(V) (área hachurada) refere-se exatamente ao trabalho termodinâmico para uma transformação onde a pressão não é constante.

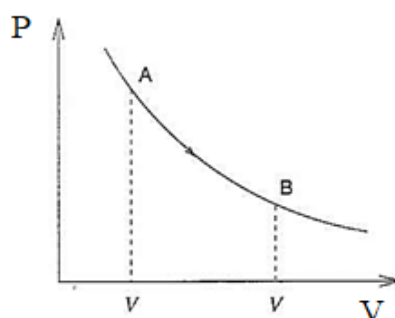


Fonte: Adaptada pelo autor, tomando por base imagem da Internet acessada em <http://sisne.org/Disciplinas/Grad/Fisica2FisMed/aula23.pdf>

Temos então que a área sob a trajetória é igual ao trabalho realizado pelo gás. Quando o gás tem seu volume aumentado dizemos que o trabalho é positivo; já quando o gás tem seu volume diminuído, dizemos que o gás consome trabalho, ou seja, o trabalho será negativo. Já nos processos isocóricos (quando o volume é constante) o trabalho realizado pelo gás é nulo.

Para entendermos o cálculo do trabalho termodinâmico consideremos a situação em idealizado por Oliveira (2012, p. 17), tomando por base o gráfico de *Clapeyron* representado na Figura 6 representada a seguir:

FIGURA 6: Representação de um processo quase-estático ligando os estados A e B, no diagrama de *Clapeyron*, onde o eixo vertical representa a pressão (P) e o eixo horizontal o volume (V).



Fonte: Oliveira (2012, p. 17)

Para tal situação o autor sugere a condição que o gás tenha a pressão se relacionando de maneira inversamente proporcional ao volume, obedecendo a relação:

$$p = \frac{B}{V} \quad (12)$$

Se considerarmos uma determinada trajetória em que B seja constante, nesse caso, o trabalho realizado pelo gás quando este se expande, saindo de um estado de volume V_1 , atingindo um estado de volume V_2 , será dado por (OLIVEIRA, 2012, p. 17):

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV = B \int_{V_1}^{V_2} \frac{1}{V} dV = B \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (13)$$

Podemos ainda, continua Oliveira (2012), considerar a situação em que, em determinado processo, a pressão do gás varia de acordo com a equação:

$$p = \frac{A}{V^\gamma} \quad (14)$$

onde A é constante e γ é uma constante numérica maior que 1. Considerando que o gás se expande de um volume V_1 até um volume final V_2 , podemos verificar que o trabalho realizado pelo gás será (OLIVEIRA, 2012, p. 17):

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV = A \int_{V_1}^{V_2} V^{-\gamma} dV = \frac{A}{-\gamma + 1} \{V_2^{-\gamma+1} - V_1^{-\gamma+1}\} \quad (15)$$

Usando a notação $p_1 = AV_1^{-\gamma}$ e $p_2 = AV_2^{-\gamma}$, podemos escrever:

$$W = \frac{1}{\gamma - 1} (p_2 V_2 - p_1 V_1) \quad (16)$$

No Sistema Internacional de Unidades (SI), o trabalho tem como unidade de medida o joule (J).

3.2.3 Variação da energia interna (ΔU)

A variação da Energia Interna é uma variável termodinâmica que apresenta dependência direta da temperatura.

Para chegarmos ao entendimento de como se dá a variação da energia interna de um sistema termodinâmico, primeiro precisamos entender o que é energia interna.

Para tanto, vamos inicialmente considerar um gás ideal monoatômico (formado apenas por átomos isolados e não por moléculas, como é o caso dos “gases nobres”). Chamamos de Energia Interna do gás (U) a soma das energias cinéticas de translação dos átomos, haja vista que, de acordo com a teoria quântica, átomos isolados não possuem energia cinética de rotação, como nos diz Halliday, Resnick & Walker (2016).

A energia cinética de translação média ($E_{Cméd}$) de um átomo é função apenas da temperatura do gás, definida pela equação a seguir:

$$E_{Cméd} = \frac{3}{2} k T \quad (17)$$

onde k é a constante de Boltzmann ($k = \frac{R}{N_A}$), e T é a temperatura na escala absoluta. Para uma amostra de gás monoatômico com n mols, teremos:

$$U = (nN_A)E_{c_{méd}} = (nN_A)\left(\frac{3}{2}kT\right) \quad (18)$$

Substituindo o equivalente da constante de Boltzmann na equação anterior, teremos:

$$U = (nN_A)\left(\frac{3}{2}\frac{R}{N_A}T\right) \quad (19)$$

O que nos dá:

$$U = \left(\frac{3}{2}nRT\right) \quad (20)$$

Temos então que a equação acima representa a Energia Interna para um gás monoatômico.

Pelo que vemos nesta equação, conforme já foi dito anteriormente, a energia interna está intimamente ligada a temperatura, logo, se tivermos uma variação na temperatura (ΔT), teremos também uma variação na energia interna (ΔU), definida por:

$$\Delta U = \left(\frac{3}{2}nR\Delta T\right) \quad (21)$$

Analisando a equação acima podemos fazer uma análise dos sinais que a variação da energia interna pode assumir:

- Se $T_f > T_i$, ou seja, $\Delta T > 0$, teremos $\Delta U > 0$, ou seja, a energia interna do sistema aumenta;
- Se $T_f < T_i$, ou seja, $\Delta T < 0$, teremos $\Delta U < 0$, ou seja, a energia interna do sistema diminui;
- Se $T_f = T_i$, ou seja, $\Delta T = 0$, teremos $\Delta U = 0$, ou seja, não há variação da energia interna do sistema, numa transformação chamada de Isotérmica.

Fazendo uma análise da equação 1, que explicita a Primeira Lei da Termodinâmica, $\Delta U = Q - W$, podemos fazer uma análise para determinados processos termodinâmicos:

- **Processo Isotérmico:** onde a temperatura permanece constante, ou seja, $T_f = T_i$, temos que $\Delta U = 0$; temos então, para a equação 1 que $Q = W$;
- **Processo Isovolumétrico:** onde o volume se mantém constante, ou seja, $V_f = V_i$, temos então que $\Delta V = 0$. Então, de acordo com a equação 7 teremos $W = 0$, então a equação assumirá a forma $\Delta U = Q$;
- **Processo Adiabático:** onde não há trocas de calor entre o sistema termodinâmico e a vizinhança. Temos então que $Q = 0$; a equação 1 resultará então em $\Delta U = -W$;
- **Processo Cíclico:** onde o estágio final do processo coincide com o estágio inicial. Sendo assim, $V_i = V_f$, $P_f = P_i$ e $T_f = T_i$. Sendo assim, $\Delta T = 0$, o que nos diz que $\Delta U = 0$. Temos então para a equação 1 que $Q = W$

A primeira Lei da Termodinâmica surgiu, originalmente por meio de comprovações empíricas, principalmente em meados do século XIX, com o advento da Revolução Industrial, onde as máquinas térmicas a vapor eram tidas como essenciais. Hoje ela é entendida como uma maneira de definir calor através do princípio da conservação da energia.

FIGURA 7: Mapa conceitual ilustrando a Primeira Lei da Termodinâmica.



Fonte: <https://becodafisica.blogspot.com/2015/09/primeira-lei-da-termodinamica-e.html>

3.3 Segunda Lei da Termodinâmica

Apesar da primeira lei da termodinâmica expressar a conservação da energia para um determinado processo termodinâmico, ela apresenta uma limitação: a verificação da mesma em processos espontâneos é pouco provável, devido à sua irreversibilidade. Nos processos naturais o calor flui de forma espontânea do ponto de

maior temperatura para o ponto de menor temperatura; porém, o processo inverso não acontece de forma espontânea.

Sobre os processos irreversíveis, como nos diz Halliday, Resnick & Walker (2016, p. 551), “estamos acostumados a processos unidirecionais, que acontecem apenas em certa ordem (a ordem certa) e nunca na ordem inversa (a ordem errada).” Para eles, fenômenos unidirecionais que não podem ser desfeitos por meio de pequenas mudanças no ambiente são considerados irreversíveis.

Como já dito, os fenômenos naturais, por serem irreversíveis, impõem uma limitação à primeira lei da termodinâmica. Podemos concluir, de maneira mais geral, que a primeira lei da termodinâmica não prevê a possibilidade ou não da realização de um determinado processo termodinâmico.

Para explicar ultrapassar essa limitação, se fez necessário o surgimento de uma nova lei que explicasse esses fenômenos. Surgiu então a Segunda Lei da Termodinâmica.

A segunda lei da termodinâmica veio como uma alternativa para descrever o comportamento “assimétrico” dos fenômenos naturais. Esta lei, como nos diz Júnior, Ferraro & Soares (2009), de caráter primordialmente estatístico, expressa como os sistemas evoluem espontaneamente, seguindo um sentido preferencial, tendendo para um estado de equilíbrio. De acordo com esses autores, a segunda lei mostra que a energia se “degrada” de uma forma ordenada para uma forma desordenada chamada de energia térmica.

Existem dois enunciados importantes para a Segunda Lei da Termodinâmica:

Um deles proposto por Clausius, (Rudolf Julius Emanuel Clausius) que nos diz, em linhas gerais: “O calor não passa de maneira espontânea de um corpo de um corpo de menor temperatura para um corpo de maior temperatura”.

Em seu enunciado Clausius não afirma que **não seja possível** o calor poder passar de um corpo de menor temperatura para um corpo de maior temperatura. O que ele afirma em seu enunciado que esta transferência de energia não se dá de forma espontânea.

Um segundo enunciado, proposto por Kelvin e Max Planck (Max Karl Ernst Ludwig Planck), ficou conhecido como o enunciado de Kelvin-Planck: “É impossível construir uma máquina térmica que, operando em ciclos, tenha como único efeito a conversão integral de calor em trabalho.”

O que esse enunciado nos diz que, apesar de estar prevista na primeira lei da termodinâmica, a conversão integral de calor em trabalho nunca pode ocorrer. O que o enunciado de Kelvin-Planck nos diz é que uma fração da energia térmica não utilizada na realização do trabalho é transferida para uma outra fonte, a uma temperatura menor.

3.4 Máquinas térmicas

De acordo com Halliday, Resnick & Walker (2016, p. 564), “Uma máquina térmica é um dispositivo extrai energia do ambiente na forma de calor e realiza um trabalho útil.”

Para tal tarefa, continuam os autores, a máquina térmica utiliza uma substância de trabalho. Nas máquinas a vapor a substância de trabalho é a água (tanto na forma líquida quanto na forma de vapor); nos dos automóveis à gasolina, a substância de trabalho é o comburente (mistura de gasolina e água).

Júnior, Ferraro & Soares (2009), ao falarem sobre máquinas térmicas citam como um exemplo real a locomotiva a vapor, também conhecida como “maria-fumaça”, onde a fonte quente é a caldeira (constituída pela fornalha) e a fonte fria é o ar atmosférico. Neste tipo de máquina térmica, continuam os autores, o calor retirado da caldeira é parcialmente transformado no trabalho motor que aciona a máquina e o que “sobra” é rejeitado para a atmosfera.

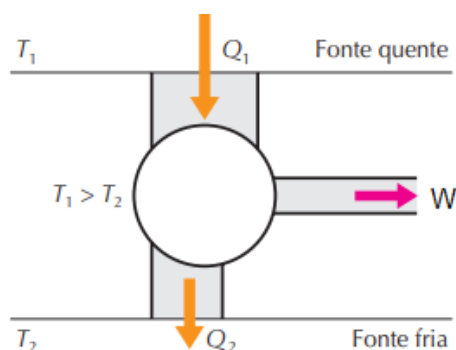
Para uma máquina térmica possa realizar trabalho de forma contínua é necessário que ele opere em ciclos, quer dizer, a substância de trabalho deve estar submetida a uma série de processos termodinâmicos, chamados tempos, passando periodicamente por cada etapa do ciclo.

De uma maneira mais genérica, podemos dizer que em uma máquina térmica é possível se obter trabalho a partir do fluxo de energia térmica entre duas fontes a temperaturas diferentes, de modo que, espontaneamente, esse fluxo se dá no sentido da fonte quente (maior temperatura) para a fonte fria (menor temperatura).

Essa definição mais genérica serve para posamos visualizar as etapas básicas de funcionamento de uma máquina térmica real.

Na Figura 8 a seguir temos uma representação esquemática do funcionamento de uma máquina térmica real, onde podemos visualizar o fluxo de calor ao longo das fontes quente e fria:

FIGURA 8: Figura esquemática do funcionamento de uma máquina térmica onde as setas indicam o sentido das energias envolvidas: Q_1 = calor recebido da fonte quente (temperatura maior), Q_2 = calor rejeitado à fonte fria (temperatura menor) e W é o trabalho realizado. T_1 = temperatura da fonte quente e T_2 = Temperatura da fonte fria.

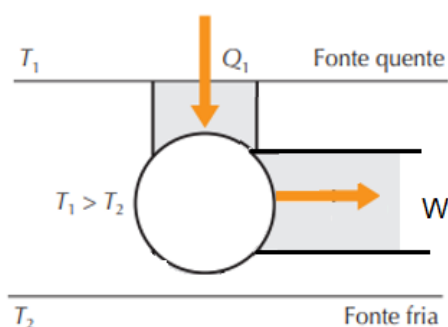


Fonte: Júnior, Ferraro & Soares (2009)

Nas máquinas térmicas cíclicas o trabalho mecânico é gerado a partir de duas fontes de calor há temperaturas diferentes onde, em cada ciclo, uma certa quantidade de calor é retirada da fonte quente (maior temperatura) e parte desse calor é rejeitada a fonte fria (menor temperatura), sendo esta última a condição necessária para que o ciclo seja estabelecido.

Caso não se tenha calor rejeitado à fonte fria, o que contradiz o enunciado de Kelvin-Planck para a segunda lei da termodinâmica, essa máquina teria configuração mostrada na Figura 9:

Figura 9: Figura esquemática representando uma máquina térmica com eficiência de 100%. Esquema que mostra como seria o funcionamento de uma máquina térmica hipotética, onde todo o calor recebido da fonte quente fosse integralmente convertido em trabalho, contrariando o enunciado de Kelvin-Planck para a segunda lei da termodinâmica.



Fonte: Figura adaptada de Júnior, Ferraro & Soares (2009)

As primeiras máquinas térmicas, como por exemplo as máquinas a vapor, foram inventadas e já funcionavam antes mesmo de se ter um embasamento teórico que às embasasse.

Porém, em 1824, Nicolas Léonard Sadi Carnot, um físico e engenheiro militar francês, em seu livro intitulado “Reflexões sobre a força motriz do fogo e sobre as

máquinas apropriadas para desenvolver essa força” ao fazer uma análise das máquinas térmicas existentes em sua época conseguiu introduzir novos conceitos que, algum tempo depois, serviram de base para o desenvolvimento da termodinâmica.

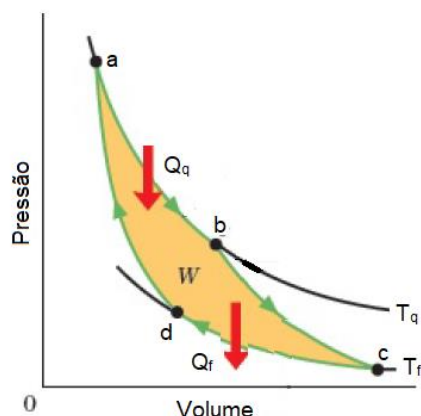
Em seus escritos Carnot conclui que o fato verificado experimentalmente, de que o calor sempre flui de um corpo de maior temperatura para um corpo de menor temperatura (e não o oposto), é o fator limitante para o baixo rendimento das máquinas térmicas.

Carnot direcionou seu trabalho para tentar construir uma teoria que para a máquina térmica com a maior eficiência possível. A máquina idealizada por Carnot é máquina térmica teórica, que apresenta a maior eficiência, sendo, portanto, considerada como limite teórico para uma máquina térmica real.

Na Figura 10 a seguir temos um desenho esquemático que mostra um diagrama $p \times V$ do ciclo de Carnot, isto é, um ciclo em que a substância de trabalho é submetida quando operando segundo uma máquina de Carnot. As setas indicam o sentido do ciclo (sentido horário). Na figura, T_q representa a temperatura da fonte quente de onde uma quantidade de calor Q_q é transferida desta fonte para a substância de trabalho enquanto o gás sofre uma **expansão isotérmica** do volume V_a para o volume V_b ; T_f representa a temperatura da fonte fria, de onde uma quantidade de calor Q_f é transferida da substância de trabalho para a fonte fria enquanto sofre uma **compressão isotérmica** do volume V_c para o volume V_d . As etapas do ciclo **bc** e **da**, que ligam as isothermas correspondentes às temperaturas T_q e T_f , respectivamente, uma **expansão adiabática** (bc) e uma **compressão adiabática** (da), ou seja etapas reversíveis do ciclo, que se dão sem nenhuma transferência de energia na forma de calor.

Figura 10: Figura esquemática representando um diagrama Pressão x Volume para o Ciclo de Carnot

Figura Mostrando como seria o funcionamento de uma máquina térmica que opera em um “ciclo de Carnot”, chamada de “máquina de Carnot”. as etapas ab e cd correspondem, respectivamente à uma expansão isotérmica e uma compressão isotérmica; as etapas bc e da correspondem, respectivamente, a uma expansão adiabática e uma compressão adiabática (onde não há trocas de calor). a área sombreada (hachurada) limitada pelo ciclo é igual ao trabalho (w) realizado a cada ciclo pela máquina de Carnot.



Fonte: Figura adaptada de Halliday, Resnick & Walker (2016)

Nas máquinas térmicas que operam em ciclos a variação da energia interna (ΔU) é nula, haja vista que, a cada ciclo a temperatura final (T_f) é igual a temperatura inicial (T_i). se analisarmos a equação que define a Primeira Lei da Termodinâmica (Equação 1)

$$\Delta U = Q - W$$

Como, para uma transformação cíclica $\Delta U = 0$, considerando que numa transformação cíclica há variação na quantidade de calor (calor recebido da fonte quente, Q_q , e calor rejeitado à fonte fria, Q_f) teremos para a Equação 1:

$$\Delta Q = W \quad (22)$$

Como $\Delta Q = Q_q - Q_f$, podemos reescrever a Equação 22 da seguinte forma:

$$Q_q - Q_f = W \quad (23)$$

Ou, podemos reescrever a equação acima da seguinte forma:

$$W = Q_q - Q_f \quad (24)$$

Podemos interpretar a Equação 24 como: o trabalho (W) realizado por uma máquina térmica é dado pela diferença entre a quantidade de calor recebida da fonte quente (Q_q) e a quantidade de calor rejeitada à fonte fria (Q_f).

3.4.1 Rendimento (ou eficiência) de uma máquina térmica

Ao se usar uma máquina térmica qualquer, sempre há a busca por uma maior eficiência na utilização da mesma, ou seja, a busca em se obter a maior quantidade possível de trabalho face à quantidade de calor recebida da fonte quente. O resultado dessa busca é que chamamos de eficiência ou, como usado mais comumente nos livros didáticos de ensino médio, rendimento.

Podemos definir o rendimento de uma máquina qualquer (η) como sendo a razão entre a energia útil (energia obtida como “benefício” devido a utilização dessa máquina) e a energia total fornecida à essa máquina para que a mesma funcione. Para uma máquina térmica operando em ciclos, a energia útil é o trabalho (W) e a energia total é a quantidade de calor recebida da fonte quente. Podemos então, escrever rendimento como sendo:

$$\eta = \frac{\text{Energia útil}}{\text{Energia total}} = \frac{|W|}{|Q_q|} \quad (25)$$

Se substituirmos o equivalente a trabalho obtido na Equação 24 na Equação 25, teremos:

$$\eta = \frac{|Q_q - Q_f|}{|Q_q|} = 1 - \frac{|Q_f|}{|Q_q|} \quad (26)$$

A Equação 26 representa o rendimento (ou eficiência) por ciclo de uma máquina térmica qualquer operando em ciclos.

É possível, para o ciclo de Carnot, reescrever a Equação 26 em função apenas das temperaturas T_q e T_f das fontes quente e fria.

Para isso, tomando por base a Figura 9, precisamos lembrar que:

- Na etapa 1, a substância de trabalho se expande isotermicamente do volume V_a para o volume V_b ;
- Na etapa 2, a substância de trabalho se expande adiabaticamente do volume V_b para o volume V_c ;
- Na etapa 3, a substância de trabalho se comprime isotermicamente do volume V_c para o volume V_d ;

- Na etapa 4 (etapa final do ciclo), a substância de trabalho se comprime adiabaticamente do volume V_d para o volume V_a .

Considerando a “substância de trabalho” como sendo um gás ideal, podemos calcular o trabalho durante um processo isotérmico como sendo:

$$W = \int_{V_i}^{V_f} PdV = \int_{V_i}^{V_f} \frac{nRT}{V} dV = nRT \int_{V_i}^{V_f} \frac{dV}{V} = nRT(\ln V_f - \ln V_i) = nRT \ln \frac{V_f}{V_i} \quad (27)$$

Portanto, para etapa 1, podemos reescrever a equação acima como sendo:

$$W_{ab} = nRT_q \ln \frac{V_b}{V_a} \quad (28)$$

Podemos afirmar que este trabalho é igual ao calor absorvido da fonte quente porque, como já vimos, a variação de energia interna (ΔU) para um processo isotérmico é nula ($\Delta U = 0$).

Podemos então escrever:

$$Q_q = W = nRT_q \ln \left(\frac{V_b}{V_a} \right) \quad (29)$$

O que nos dá:

$$Q_q = nRT_q \ln \left(\frac{V_b}{V_a} \right) \quad (30)$$

De modo análogo, o trabalho realizado no processo isotérmico na etapa 3 também segue o mesmo raciocínio, verificando-se que, nesse caso, o trabalho (rejeitado à fonte fria) é negativo e proporcional a $\ln \left(\frac{V_c}{V_d} \right)$ (que é negativo haja vista que $V_c > V_d$). Teremos então, para a etapa 3:

$$|W_{cd}| = Q_f = nRT_f \ln \left(\frac{V_c}{V_d} \right) \quad (31)$$

Dividindo a Equação 31 pela Equação 30, teremos:

$$\frac{|Q_f|}{Q_q} = \frac{T_f}{T_q} \frac{\ln\left(\frac{V_c}{V_d}\right)}{\ln\left(\frac{V_b}{V_a}\right)} \quad (32)$$

Para chegarmos à equação que queremos, que é determinar o rendimento para uma máquina térmica que opere num ciclo de Carnot, precisamos escrever a razão entre os logaritmos apresentada na equação 30 em função apenas das temperaturas, para tanto vamos precisar das equações referentes as etapas adiabáticas (etapas 2 e 4).

Temos que, para um processo adiabático, $PV^\gamma = \text{constante}$, onde $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$, sendo C_p o calor molar a pressão constante e C_v o calor molar a volume constante. Substituindo essa equação na equação de estado de um gás ideal, que é $P = \frac{nRT}{V}$, teremos:

$$PV^\gamma = \text{constante} \Rightarrow \frac{nRT}{V} V^\gamma = \text{constante} \Rightarrow TV^{\gamma-1} = \text{constante} \quad (33)$$

Aplicando essa condição aos processos adiabáticos das etapas 2 e 4, teremos:

$$T_q V_b^{\gamma-1} = T_f V_c^{\gamma-1} \quad e \quad T_q V_a^{\gamma-1} = T_f V_d^{\gamma-1} \quad (34)$$

Agora, dividindo a primeira equação pela segunda equação (equações acima), temos:

$$\left(\frac{V_b}{V_a}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{V_c}{V_d}\right)^{\gamma-1} \Rightarrow \frac{V_b}{V_a} = \frac{V_c}{V_d} \quad (35)$$

Temos que $\ln\left(\frac{V_c}{V_d}\right) = \ln\left(\frac{V_b}{V_a}\right)$, substituindo na equação (32) nos dá:

$$\frac{|Q_f|}{Q_q} = \frac{T_f}{T_q} \frac{\ln\left(\frac{V_c}{V_d}\right)}{\ln\left(\frac{V_b}{V_a}\right)} \Rightarrow \frac{|Q_f|}{Q_q} = \frac{T_f}{T_q} \quad (36)$$

Substituindo a Equação 36 na Equação 26, que representa o rendimento para uma máquina térmica qualquer, teremos a equação que representa o rendimento (ou eficiência) para uma máquina térmica que opere segundo um ciclo de Carnot:

$$\eta = 1 - \frac{|Q_f|}{|Q_q|} = 1 - \frac{T_f}{T_q} \quad (37)$$

A equação acima nos mostra que o rendimento de uma máquina térmica que opere segundo um ciclo de Carnot é função apenas da razão entre as temperaturas da fonte fria e da fonte quente.

A busca constante dos inventores, e engenheiros, concentra-se em encontrar novas formas de aumentar a eficiência das máquinas térmicas buscando reduzir a quantidade de calor rejeitas à fonte fria em cada ciclo. Na realidade, o “sonho de consumo” destes, bem como dos construtores das primeiras máquinas térmicas, é a construção da máquina perfeita, que seria ter uma máquina com 100% de eficiência, ou seja, com $\eta = 1$. Ao analisarmos a Equação 37 podemos concluir que para tal feito seriam necessárias duas condições: ou a temperatura da fonte fria (T_f) teria que ser igual a 0K (0 kelvin, tomando por base a escala absoluta proposta por Lord Kelvin) ou a temperatura da fonte quente (T_q) teria que ser igual a ∞ ($T_q = \infty$), condições impossíveis de serem conseguidas em situações reais, como nos diz Halliday, Resnick & Walker (2016).

Para eles, a eficiência definida pela Equação 37 se aplica apenas às máquinas de Carnot, consideradas máquinas térmicas de ciclo reversível; para as máquinas reais, cujas etapas dos ciclos são processos irreversíveis, tendo como referências às mesmas temperaturas das fontes quente e fria, a eficiência será sempre menor.

3.4.2 A máquina térmica de *Stirling*

O ano de 2016 marcou o bicentenário do registro de patente de Robert *Stirling*, onde o mesmo descreveu os trocadores de calor e a tecnologia do motor *Stirling*. O

motor *Stirling* é uma máquina térmica de combustão externa, diferente do motor de motor a combustão interna, que o sucedeu.

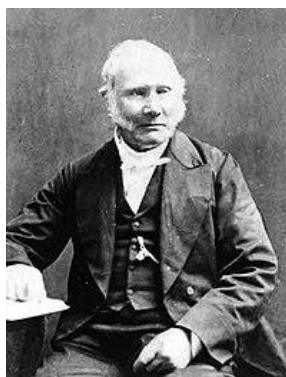
Um motor *Stirling* é, segundo Walker (1980, p. 1), “um dispositivo mecânico que opera em ciclo termodinâmico regenerativo fechado com compressão e expansão do fluido de trabalho em diferentes níveis de temperatura.”

Os motores *Stirling* são também conhecidos como motores de ar quente e, mais genericamente, de máquinas regenerativas.

3.4.2.1 Histórico do motor *Stirling*

Robert Stirling, nasceu em 25 de outubro de 1790 na zona rural de *Perthshire*, na Escócia e faleceu em 6 de junho de 1878 em *Galston*.

FIGURA 11: *Robert Stirling* (1790-1878), pastor escocês, inventor do motor *Stirling*.



Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/88/Robert_Stirling.jpg

Barros (2005), nos conta que *Robert Stirling*, que era filho de fazendeiro, nasceu numa época em que melhorias agrícolas por meio de recuperação de terras e novas máquinas estavam em pleno andamento na Grã-Bretanha. *Michael Stirling*, seu avô, já havia inventado, em 1785, uma debulhadeira rotativa acionada por energia hidráulica.

Os motores a vapor da época, onde o caráter cíclico não era evidente já que tais máquinas recebiam calor de uma caldeira, transformavam a expansão em trabalho e o rejeitavam depois de condensado na forma de água quente (Aurani, 1986), eram considerados perigosos, devido à riscos de queimaduras e explosões devido as altas pressões atingidas pelo vapor e do uso de materiais inadequados.

Preocupado com essa situação, *Robert Stirling* decide buscar alternativas para diminuir esses riscos, que essas máquinas representavam para a saúde e a vida de seus operadores.

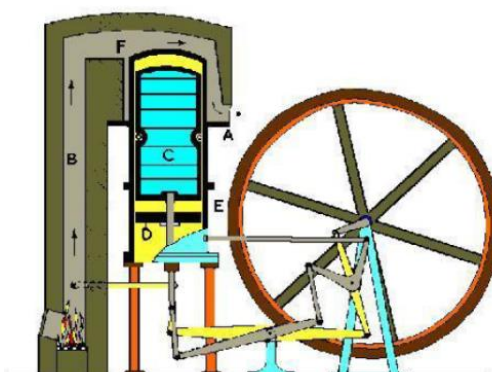
Em 1816 ele tem o primeiro sucesso, como nos conta Barros (2005):

“A patente original n° 4081 de 1816 tinha o obscuro título: *Improvements for Diminishing the Consumption of Fuel, and in Particular an Engine Capable of Being Applied to the Moving (of) Machinery on a Principle Entirely New – Melhora para Redução do Consumo de Combustível, e em Particular um Motor Capaz de ser Aplicado ao Movimento de Máquina com um Princípio Completamente Novo*. Nesta patente, *Robert Stirling* não apenas descrevia a construção e o uso do regenerador pela primeira vez na história, como também prevê as suas principais aplicações, como para fornos de vidros ou para fusão de metais.” (BARROS, 2005, p. 23) [grifos do autor]

Na patente original de *Robert Stirling* chamava seu dispositivo de "economizador", por sua melhoria na economia de combustível. A patente também mencionava a possibilidade de se usar o dispositivo em um motor. Mais tarde, outras patentes feitas pelos irmãos *Stirling* com outras configurações, incluindo versões pressurizadas deste mecanismo. Esse componente, o “economizador” agora é conhecido como "regenerador" e é essencial em todos os dispositivos *Stirling* de alta potência, complementa Maier et al (2007).

Segundo relata Barros (2005), a invenção de um motor de combustão externa de ciclo fechado por *Robert Stirling* foi algo tão avançado cientificamente para a época que pelo menos 30 anos se passaram sem que se pudesse entender o funcionamento do motor por completo, complementa Barros (2005).

Figura 12: Figura mostrando o desenho esquemático do motor original proposto por *Stirling*, onde temos que o calor é gerado pela queima de um combustível em uma fornalha, os gases da combustão passavam por B, F e sai em uma chaminé em A. Em F, está posicionado a parte quente do moto. O pistão de deslocamento C, é o responsável por deslocar o fluido de trabalho do espaço de expansão para o de compressão. O pistão D é o de trabalho. Com o aquecimento do fluido de trabalho na parte quente do motor (espaço de expansão) e resfriamento na parte fria (espaço de compressão), e com um mecanismo para sincronizar o movimento destes pistões, havia o funcionamento do motor.



Fonte: Barros (2005)

Os motores *Stirling*, porém requeriam uma maior atenção na sua fabricação, por ter uma tolerância mais estreita que os motores à combustão interna. Devido a esse fator, menor custo na sua manufatura, aliado ao fato de gerarem uma maior potência, os motores à combustão interna levaram ao desaparecimento comercial do motor *Stirling*.

Esse “esquecimento” começou a desaparecer quando, na década de 1930, pesquisadores da *Philips Company*, na Holanda, começaram a reconhecer boas possibilidades neste tipo de motor, e começaram a utilizar modernas técnicas de engenharia em sua fabricação. A partir de então, a companhia passou a investir nestes motores, dando uma posição de destaque a nova tecnologia dos motores *Stirling*, produzindo motores com bom desempenho, mais silenciosos, com elevada eficiência e possibilidade de ser usado com qualquer fonte de calor. Suas principais aplicações vão desde a propulsão veicular, propulsão de submarinos, geração de eletricidade e como bomba de calor, como nos relata Barros (2005).

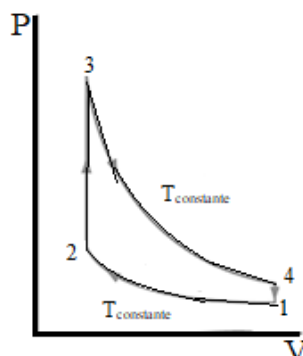
3.4.2.2 Termodinâmica do motor *Stirling*

No motor *Stirling*, diferentemente dos motores das antigas máquinas a vapor ou dos motores de combustão interna, pode ser usado, como já foi dito, com uma grande gama de fontes de calor como combustível podendo, inclusive, ser mais eficiente que os motores a gasolina e diesel.

Afonso (2012) detalha que este tipo de motor é composto por duas câmaras, a diferentes temperaturas, nas quais o fluido de trabalho, que é o ar confinado no interior da máquina, é aquecido e resfriado de forma alternada, tendo como consequência a expansão e compressão do fluido de trabalho em um ciclo, de modo que os pistões ligados em um mesmo eixo se movimentem às custas de uma fonte de calor. Um detalhe desta máquina é que o fluido de trabalho não é renovado, apenas troca calor com as partes quente e fria da mesma.

Sendo considerada uma máquina térmica de ciclo fechado reversível e que tem um ciclo termodinâmico formado por quatro tempos: compressão isotérmica, aquecimento isovolumétrico, expansão isotérmica e resfriamento isovolumétrico. Como esquematizado na Figura 13.

Figura 13: Figura mostrando um diagrama pressão x volume, onde temos os tempos de funcionamento de um ciclo de um motor *Stirling*.



Fonte: adaptado de Melo, Maia & Tapia (2018)

No diagrama representado na Figura 13 temos:

1 → 2 – Compressão isotérmica: tempo em que o ar contido dentro do motor é contraído e sua pressão é aumentada à temperatura constante. Um trabalho (W_{12}) é realizado sobre o fluido de trabalho enquanto uma quantidade de calor é rejeitada à fonte fria. Temos então que o fluido de trabalho esfria e se contrai enquanto a temperatura se mantém constante;

2 → 3 – Aquecimento isovolumétrico: tempo em que ocorre uma elevação da temperatura e conseqüente aumento na pressão, onde há transferência do calor da fonte quente para o fluido de trabalho sem que haja realização de trabalho sobre o mesmo;

3 → 4 – Expansão isotérmica: tempo em que o ar contido no motor sofre uma expansão isotérmica, absorvendo o calor de fontes externas. Um trabalho (W_{34}) é realizado pelo fluido de trabalho enquanto uma quantidade igual de calor é fornecida ao sistema a partir da fonte quente. Nessa etapa o fluido de trabalho se expande mantendo a temperatura constante;

4 → 1 – Resfriamento isovolumétrico: tempo em que ocorre a diminuição da temperatura e pressão devido à transferência de calor fluido de trabalho para o meio externo, sendo mantido o volume constante, não havendo, portanto, realização de trabalho.

Ao fazer um comparativo entre o ciclo *Stirling* e o ciclo de *Carnot*, Halliday, Resnick & Walker (2016) afirma que, embora os dois possuam transferências de calor isotérmicas nas temperaturas T_q e T_f (temperaturas das fontes quente e fria, respectivamente), no caso do ciclo *Stirling*, estas não estão ligadas por processos adiabáticos, como no ciclo de *Carnot*, mas por processos isovolumétricos. Para que

se possa aumentar reversivelmente a temperatura, de t_f para t_q , (como na etapa 2 \rightarrow 3 da Figura 13) de um gás a volume constante, continuam os autores, se faz necessário transferir energia na forma de calor para o fluido de trabalho a partir de uma fonte cuja temperatura possa variar suavemente entre esses limites. É necessário também uma transferência de energia na forma de calor no sentido inverso, (como na etapa 4 \rightarrow 1 da Figura 13). Sendo assim, afirmam os autores, as transferências reversíveis de calor ocorrem nos quatro tempos que constituem o ciclo de uma máquina de *Stirling* e não apenas em dois como se dá no ciclo de Carnot.

Devido a estas características, é que a eficiência de uma máquina *Stirling* ideal é menor do que a de uma máquina de Carnot operando nas mesmas temperaturas, nos dizem ainda os autores, que enfatizam ainda o fato de que nas máquinas de *Stirling* reais essa eficiência é ainda menor.

Em nosso trabalho, propomos a construção e utilização de um motor *Stirling* caseiro, feito com material de baixo custo, para servir como organizador prévio para o ensino de termodinâmica para ser utilizado em aulas de física no ensino médio.

Para tal, usamos como referencial metodológico a Teoria de David Ausubel, partindo do pressuposto que, a construção, por parte dos estudantes, de um motor *Stirling* seja além de algo motivador e que incentive a investigação, sirva como um organizador prévio para os conhecimentos que se fazem necessários a um estudante do ensino médio no que se refere ao tema termodinâmica.

4 O Produto Educacional

Neste capítulo buscamos descrever, bem como justificar, a nossa proposta de intervenção desenvolvida para esta dissertação. Esta proposta se apresenta na forma de um Produto Educacional, que foi desenvolvido a partir do que preconiza o objetivo geral do Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Sociedade Brasileira de Ensino de Física (SBF).

Este produto educacional, que tem como título “**Montagem de um motor Stirling artesanal e o uso da discussão sobre seu funcionamento como organizador prévio no ensino de Termodinâmica**” foi desenvolvido para ser uma ferramenta que, tomando por base a teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, venha a promover questionamentos e discussões de modo a estimular as concepções prévias dos estudantes e modo que, ao interagirem com essas concepções, eles se tornem capazes de formular seus conceitos e possa produzir respostas que estejam de acordo com o conteúdo a ser explorado. Desta feita, com a utilização desse produto educacional, esperamos poder proporcionar aos estudantes uma aprendizagem mais significativa e mais duradoura sobre os conceitos de termodinâmica.

O produto educacional que faz jus a essa dissertação é formado por duas partes: a primeira parte chamada de **Caderno do Professor de Física**, onde além da **apresentação** (onde são mostrados os objetivos, conteúdos de aprendizagem a serem trabalhados, o papel do professor), tem um tópico sobre a **organização do material** (onde está detalhada a estrutura das aulas a serem trabalhadas, e um material instrucional, o qual chamamos de “instruções para montagem de um motor *Stirling* caseiro”) e a segunda parte intitulada **Apostila Estudos sobre Termodinâmica**, onde são trabalhados os conceitos de termodinâmica direcionados para alunos do ensino médio, tomando por base a atividade experimental proposta.

4.1 Contexto da aplicação – Público Alvo

Atividades que se referem à aplicação do produto se deu no terceiro bimestre de 2019, em uma turma de 40 alunos do 2º Ano do Curso Técnico Integrado em Segurança do Trabalho, nas dependências do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) Campus Patos, na cidade de Patos (PB).

A cidade de Patos (PB)⁴ está localizada no sertão paraibano, distante 307 km da capital do estado, João Pessoa. Localizada no Vale do Rio Espinharas, a cidade de Patos é circundada pelo Planalto da Borborema, a leste e sul e pelo Pediplano Sertanejo a oeste. Tem uma população de 100.674 habitantes de acordo com o último censo do IBGE. Com um PIB⁵ per capita de R\$ 16.208,14, IDHM de 0,701.

Por estes dados e por seus aspectos econômicos, políticos e sociais, a cidade de Patos é destaque no Sertão Paraibano.

O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - Campus Patos⁶ teve suas atividades iniciadas no ano de 2009, por meio da Portaria n° 04, de 06/01/2009, e publicada no Diário Oficial da União (DOU) n° 4, de 07/01/2009. O início das atividades do Campus foi em uma sede provisória, cedida pela prefeitura municipal daquele município até setembro de 2012, quando passou a funcionar em sua sede definitiva, estando localizado no Acesso à Rodovia PB 110, s/n, Bairro Alto da Tubiba.

O IFPB Campus Patos oferece para o ensino médio os cursos técnicos integrados ao ensino médio de Edificações, Informática, Eletrotécnica e Segurança do Trabalho, funcionando nos turnos matutino e vespertino. Tem também os cursos subsequentes em Edificações, Eletrotécnica e Manutenção e Suporte em Informática, todos funcionando turno noturno.

Por sua posição geográfica e importância econômica e política, como já foi dito, o Campus Patos costuma atrair para suas salas de aula não apenas estudantes da cidade sede, como também estudantes de cidades circunvizinhas.

Após esse pequeno relato sobre localização e importância da cidade de Patos e do IFPB Campus Patos, a partir de agora relataremos a aplicação do produto na turma escolhida.

As atividades foram aplicadas na própria sala de aula do 2º Ano Técnico Integrado em Segurança do Trabalho, por questão de termos mais espaço para que os estudantes pudessem manipular seus respectivos aparatos experimentais. As

⁴ PATOS. In: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2021. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Patos&oldid=60240396>>. Acesso em: 25 de dez 2020.

⁵ IBGE, disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/patos/panorama>>. Acessado em 25 de dez.2020.

⁶ DIRETORIA-GERAL DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO, disponível em: <<https://www.ifpb.edu.br/patos/institucional/sobre-o-campus>>. Acessado em 25de dez. 2020.

mesmas foram divididas em duas etapas, acontecendo sempre em duas aulas seguidas de 50 minutos cada uma.

4.2 Relato da aplicação do Produto

A aplicação do produto, que iremos relatar a partir de agora foi dividida em duas etapas:

Na Primeira Etapa, chamada de **OFICINA PARA CONSTRUÇÃO DO APARATO EXPERIMENTAL**, foi realizada a oficina para a construção do aparato experimental que vai ser usado nas aulas seguintes onde serão trabalhados os conteúdos de Termodinâmica para o Ensino Médio. Essa etapa se deu em 4 aulas (equivalente a duas semanas).

Na Segunda etapa, nomeada de **AULAS COM A UTILIZAÇÃO DO APARATO EXPERIMENTAL**, faz referência às aulas após a construção do aparato experimental, foi realizada em oito aulas (equivalente a quatro semanas).

Nesta etapa, o motor *Stirling* montado pelos estudantes foi usado como organizador prévio e instrumento motivacional para o estudo dos conceitos de termodinâmica, aliando a sua utilização com a apostila Estudos sobre Termodinâmica sendo, porém, possível a utilização da primeira parte deste produto educacional como suporte à utilização de livros didáticos de nível médio que tratem do conteúdo termodinâmica.

A Segunda etapa tem o detalhamento das aulas, que estão assim divididas:

- **Aulas I e II**: ESTUDO DAS TRANSFORMAÇÕES GASOSAS A PARTIR DA CONFECÇÃO DE UM MOTOR *STIRLING* CASEIRO;
- **Aula III**: INTRODUÇÃO AO ESTUDO DA TERMODINÂMICA A PARTIR DO MOTOR *STIRLING*;
- **Aula IV**: A PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA E O MOTOR *STIRLING*;
- **Aula V**: UTILIZANDO O MOTOR *STIRLING* PARA EXEMPLIFICAR TRANSFORMAÇÕES CÍCLICAS;
- **Aula VI**: UTILIZANDO O MOTOR *STIRLING* PARA ESTUDAR A SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA E AS MÁQUINAS TÉRMICAS;
- **Aulas VII e VIII**: VERIFICAÇÃO DA APRENDIZAGEM;

Convém salientar que a duração da segunda etapa pode ser ajustada à realidade de cada sala de aula, haja vista que temos “dinâmicas” quando nos deparamos com turmas diferentes. Uma sugestão é que se possa condensar as aulas III, IV e V em um único encontro, ou seja, em duas aulas seguidas.

4.2.1 1ª etapa: Oficina para construção do aparato experimental

Para a realização desta etapa, os estudantes foram divididos em grupos para a construção de um motor *Stirling* caseiro feito com material de baixo custo (usando também material de “sucata”).

A realização desta oficina teve por finalidade além da construção do motor para ser usado nas aulas seguintes, teve também como objetivo servir de organizador prévio para os conteúdos de termodinâmica, também serviu como agente motivador para as aulas, como um estimulador ao trabalho em grupo, bem como para desenvolver habilidades de destreza e manipulação de ferramentas e equipamentos.

A construção dos conceitos abordados neste trabalho teve como foco o diálogo entre cada estudantes e seus pares e entre estes e o professor, buscando despertar o fascínio pela ciência presente em cada um de nós desde nossa infância.

4.2.2 Oficina para construção do motor *Stirling* caseiro

Foi pedido aos alunos, com antecedência de duas semanas, que os mesmos formassem oito grupos de cinco alunos cada, de maneira livre, sem interferências do professor, para que os grupos fossem formados por afinidade entre os componentes, haja vista que a turma na qual o produto foi aplicado era composta por quarenta alunos. Na oportunidade da formação dos grupos, os alunos foram informados que fariam uma atividade experimental a partir da montagem de um motor *Stirling* caseiro feito com material de baixo custo.

Foi mostrado um vídeo do *youtube* com o modelo de motor que serviu de base para tal atividade. O vídeo, que pode ser acessado pelo link <https://youtu.be/woGhXWSSCs4>. Esse modelo foi escolhido, em detrimento a outros modelos disponíveis em outros sites e canais da internet por termos considerado o mesmo “mais rústico”, e não haver a necessidade de usar água como fonte fria, como em alguns outros modelos, o que, em nossa visão, pode se constituir em um “complicador” para sua construção e manuseio por parte dos alunos.

4.2.2.1 Materiais e ferramentas necessárias para a construção do motor *Stirling*

Para o início da construção do aparato experimental, foi fornecida aos componentes de cada grupo, na ocasião da formação dos mesmos, que providenciassem os seguintes materiais e ferramentas mostrados na Tabela 1.

Vale ressaltar que esses materiais devem ser requisitados de preferência na semana que antecede a oficina, para que os alunos possam providenciar todos os materiais necessários e, no dia da construção do motor não ocorram falta dos mesmos, o que poderia acarretar atrasos na realização da atividade proposta.

TABELA 1: Materiais e ferramentas para a construção do motor *Stirling*

Materiais	Ferramentas
Balões de festas (balões de aniversário) tamanho 10 (um para cada motor); Frasco de odorizador de ambiente para o corpo do motor (um para cada motor); Placas de papelão, uma para cada motor; 4 conectores de fios de 6 mm; Esponja de aço (de limpeza doméstica); Palitos de picolé (dois para cada motor); Corpo de uma caneta esferográfica (para ser cortado); Canudinho de carga de uma caneta esferográfica (para ser cortado, por isso de preferência vazio); Pedacos de fio de cobre; Pedacos de arame, de preferência arame galvanizado n. 14 (2,10mm), encontrado em lojas de material de construção; Palitos de fósforo; Bastões de cola quente; Um pedaço de madeira (para suporte do motor); Vela ou fogareiro a álcool (para acionar o motor);	Chave de fendas; Chave Philips; Alicates; Tesoura; Pistola de cola quente; Furadeira.

FONTE: Autoria própria

Na Figura 14 a seguir, vemos os materiais que serão utilizados para a confecção do motor *Stirling*:

FIGURA 14: Materiais utilizados na construção do motor *Stirling*

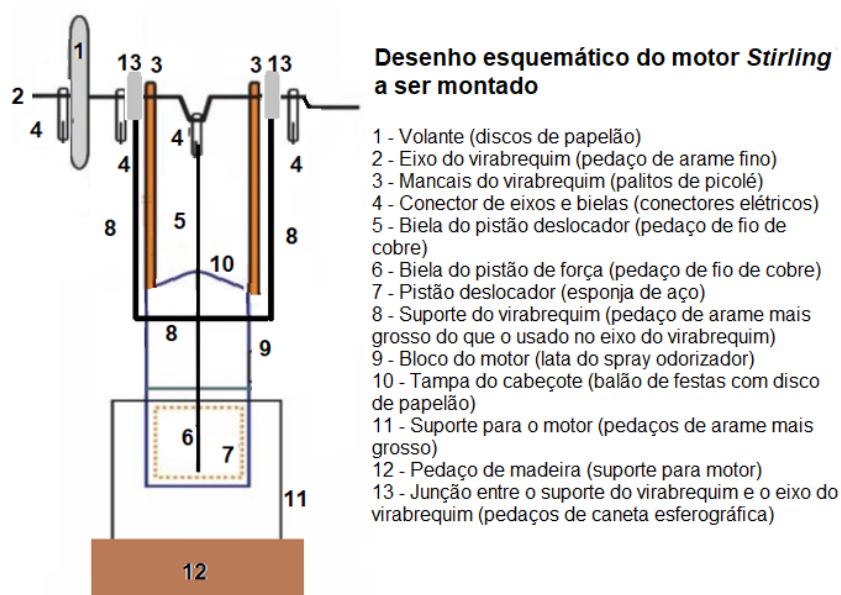


Fonte: Autoria própria

4.2.2.2 Análise da partes constituintes do motor *Stirling*

Para a construção do motor *Stirling*, além do vídeo com a apresentação do motor a ser feito, os alunos receberam um desenho esquemático com as principais partes do motor, como mostrado na figura abaixo:

Figura 15: Desenho esquemático do motor *Stirling* a ser montado



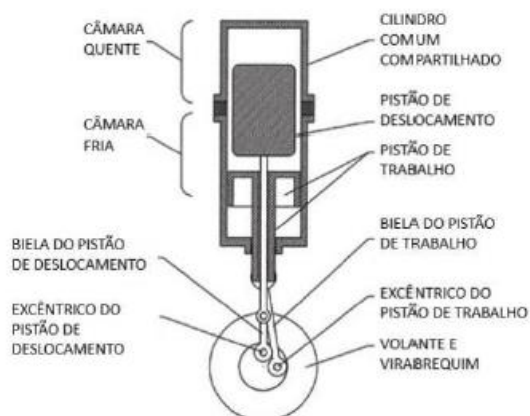
Fonte: autoria própria, adaptada de <https://motoresstirling.files.wordpress.com/2016/04/slide21.jpg>

O modelo de motor a ser construído baseia-se no motor *Stirling* tipo Beta, onde o mesmo é constituído por um único cilindro, onde temos duas regiões, uma quente e uma fria. Neste modelo temos dois pistões alinhados: o pistão de trabalho,

responsável pelo trabalho do motor e o pistão de deslocamento, localizado dentro do cilindro, ficando localizado entre as câmaras quente e fria, como nos mostra Melo, Maia & Tapia (2018).

A figura a seguir, nos mostra uma configuração deste tipo de motor:

FIGURA 16: Motor *Stirling* tipo Beta



Fonte: Melo, Maia & Tapia (2018)

Neste tipo de motor, o pistão do deslocador (nº 7 da Figura 15) tem a função de deslocar o gás contido dentro do bloco do motor (nº 9 da mesma figura) para que o mesmo possa ser aquecido e resfriado. Esse deslocamento, comprimindo e expandindo o gás, vai fazer o eixo do virabrequim girar, fazendo o volante também girar.

Durante o “**tempo de compressão isotérmica**”, o pistão é movimentado para cima, provocando um trabalho de compressão sobre o fluido de trabalho, rejeitando calor para o ambiente, para a que a temperatura se mantenha constante.

No “**tempo do aquecimento isovolumétrico**”, o pistão do deslocador é movimentado para baixo, levando o fluido de trabalho para o espaço de expansão, ao receber calor da fonte quente, elevando sua pressão e sua temperatura, o volume constante.

No “**tempo da expansão isotérmica**”, o pistão é movimentado para baixo, recebendo calor da fonte externa, aumentando a pressão, tendo também um aumento no seu volume e mantendo a temperatura constante.

No tempo da “**compressão isovolumétrica**”, o calor é rejeitado para o ambiente, fazendo com que o pistão deslocador se movimente para cima, deslocando o fluido de trabalho, reduzindo sua pressão e temperatura para valores próximos aos iniciais, onde o ciclo se reinicia.

A seguir, detalhamos algumas partes constituintes do motor e sua função que o mesmo desempenha:

- Bloco do motor: corpo principal do motor onde estão fixadas as demais partes que compõem o motor (virabrequim, pistão deslocador, tampa do cabeçote, etc.);
- Biela do pistão deslocador: proporciona a transmissão entre o pistão e o virabrequim; responsável por transmitir ao virabrequim a força resultante da pressão do gás contido no cilindro;
- Virabrequim: desempenha a função de converter o movimento linear do pistão (sobe e desce) em movimento circular, transmitindo esse movimento ao volante;
- Volante: fixado na extremidade do virabrequim tem por função regularizar a velocidade de rotação transmitida pelo motor;
- Tampa do cabeçote: fixado na parte superior do bloco do motor, tem por função a vedação do mesmo, impedindo que o fluido de trabalho escape e permitir a movimentação da biela do pistão deslocador.

4.2.2.3 Construção do motor *Stirling*

A ideia do desenvolvimento de uma atividade experimental a partir de um protótipo de um motor *Stirling* tipo Beta, que é relativamente simples e pode ser construído com material de baixo custo, bem como material dito de “sucata”, tem como fim usar o referido motor como um organizador prévio para alavancar os subsunçores necessários à uma atividade significativa dos conceitos abordados em termodinâmica.

Os nossos “protótipos” de motor *Stirling* foram construídos pelos alunos, em grupos, tendo sido usadas quatro aulas de cinquenta minutos (divididas em duas semanas intercaladas). Aqui uma observação se faz necessária: como a turma era formada por alunos de outras cidades além da cidade sede do campus, não foi possível organizar no contraturno (o ideal seria no contraturno para que se tivesse mais tempo e pudesse ser construído o motor em um único encontro).

A construção dos motores foi acompanhada pelo professor titular, orientando sobre todos os cuidados quanto à segurança na confecção do motor e uso dos equipamentos.

Foi solicitado aos integrantes dos grupos que trouxessem o vasilhame do spray do odorizador com antecedência para que o professor responsável pudesse fazer a preparação do corpo do motor, serrando o vasilhame, lixando o mesmo para retirar as possíveis “rebarbas” e evitar acidentes.

- **1º Encontro**

De posse dos respectivos blocos do motor (vasilhame do spray odorizador, devidamente cortado e lixado), e dos demais materiais, que foram pedidos antecipadamente, foi iniciada a oficina para a construção dos respectivos motores por cada grupo.

Foi montado, pelo autor desta dissertação, em outro momento extra aula, um “protótipo” que foi apresentado aos estudantes para que os mesmos tivessem um modelo comparativo, bem como um vídeo com a montagem do mesmo.

FIGURA 17: Motor usado como protótipo



Fonte: Autoria própria

Num primeiro momento os estudantes começaram a fazer as medições para as peças a serem usadas para a confecção dos motores.

FIGURA 18: Fotos dos estudantes no primeiro encontro



Fonte: autoria própria

- **2º Encontro**

No segundo encontro os estudantes finalizaram os seus respectivos motores, haja vista que no primeiro encontro os mesmos se dedicaram a confeccionar as peças separadas do motor, com as suas referidas especificações restando para o segundo encontro a parte de finalização dos respectivos motores.

FIGURA 19: Montagem dos motores



Fonte: Autoria própria

Esta etapa da construção foi bastante significativa. Os alunos se mostraram bastante receptivos á proposta, e por bem motivados não houve muita resistência ao que era proposto.

Mesmo sendo uma turma jovem, bem e como tal, propensa à dispersões, a mesma se mostrou bastante focada na atividade proposta, sem dispersões que pudessem colocar em xeque a realização do que foi proposto.

Após a montagem e seus motores, alunos colocaram os mesmos para funcionar e, a partir desse momento começamos a dar ênfase ao objetivo deste trabalho: utilização de um motor *Stirling* caseiro como um organizador prévio para o estudo de termodinâmica.

FIGURA 20: Alguns motores montados



Fonte: Autoria própria

4.2.2.4 A atividade experimental como um organizador prévio para os conceitos de termodinâmica

Após a apresentação do “protótipo” do motor *Stirling*, e depois da montagem de seus próprios motores os alunos foram convidados a refletirem um pouco sobre o que vinha a ser o motor que eles construíram.

Nesse momento, antes de começarem a “manipular” os seus motores, os estudantes foram instigados a explicitar suas concepções próprias a partir da construção do seu aparato experimental.

Num primeiro momento os estudantes foram perguntados sobre que conceitos que eles já tinham adquirido poderiam estar relacionados com a atividade experimental que eles haviam acabado de realizar.

Os alunos listaram conceitos como: temperatura, calor, fogo, quente e movimento.

Nesse momento, foram feitos alguns questionamentos, sobre o que os estudantes achavam sobre o funcionamento dos motores montados por eles:

✓ O que estaria causando o movimento das partes do motor (virabrequim e volante)?

✓ Porque alguns motores, para funcionar precisaram de mais velas que outros?

✓ Que modalidades de energia estariam envolvidas?

✓ Que possíveis transformações de energia estariam envolvidas?

Nesta etapa, foi dado um certo tempo (5 minutos mais ou menos) para os alunos pensarem, ao passo que visualizavam seus respectivos motores.

A partir de respostas como:

✓ **Para a primeira pergunta:** o giro dado no volante para o motor começa a funcionar (referindo-se ao “empurrãozinho” que se dá para vencer a inercia inicial do eixo do virabrequim); ao “fogo” da vela que esquenta o ar; ao ar aquecido dentro do corpo do motor;

✓ **Para a segunda pergunta:** por terem o volante mais pesado foi preciso esquentar mais (apesar de não fazerem ligação direta entre uma coisa e outra); porque em algumas o atrito era maior;

✓ **Para a terceira pergunta:** calor, fogo, luminosa, térmica;

✓ **Para a quarta pergunta:** térmica em luminosa; calor em movimento.

Nesse momento, nos amparamos em uma referência de Ausubel (2003) que, em linhas gerais nos diz que o organizador prévio além de ser mais geral, inclusivo e abstrato do que o conteúdo de aprendizagem que se deseja ancorar, deve também trazer à tona ideias potencialmente relevantes que já existam na estrutura cognitiva do aprendente de forma a poder ser passível de aprendizagem e poder mobilizar de forma explícita todo o conteúdo que seja relevante e esteja disponível nessa estrutura.

A partir dessa reflexão, foram introduzidos os conceitos iniciais necessários ao estudo de termodinâmica, de modo a fazer uma sistematização dos conteúdos de modo a propiciar uma ancoragem entre os conhecimentos prévios dos alunos e os conceitos que se pretendeu introduzir com a utilização da atividade experimental. Alguns conhecimentos prévios que são necessários para o estudo de termodinâmica são: temperatura, pressão, volume, trabalho, calor.

Com o uso da atividade experimental como um organizador prévio almejamos que os estudantes ancorassem alguns conceitos e, em discussão em grupo, com seus pares, num primeiro momento e depois com a intervenção do professor, se buscou trazer à tona conceitos como: transformações de energia, energia térmica, trabalho termodinâmico, energia interna, bem como uma introdução à Primeira Lei da

Termodinâmica ($Q = W + \Delta U$), dando uma interpretação genérica para a mesma e uma introdução sobre máquinas térmicas.

Após esta primeira etapa da aplicação do produto, os motores foram guardados no laboratório da escola porque os mesmos foram utilizados nas aulas seguintes, seguindo a sequência de aulas proposta na primeira parte do produto (o **Caderno do Professor de Física**) e da segunda parte: a apostila “**Estudo dos Gases e Termodinâmica**”.

4.2.3 2ª etapa: Aulas com a utilização do aparato experimental

O detalhamento das aulas a seguir foi pensada para serem seguidas após a construção, por partes dos alunos, do motor *Stirling* caseiro. O funcionamento do motor servirá para identificar os organizadores prévios que os alunos possuem acerca de cada tema a ser trabalhado nas aulas propostas.

No Caderno do Professor de Física, a estrutura de aulas proposta é a seguinte:

As intervenções foram pensadas para serem usadas em duas aulas semanais de 50 minutos cada (na aplicação foram sempre duas aulas seguidas).

Aulas I e II: ESTUDO DAS TRANSFORMAÇÕES GASOSAS A PARTIR DA CONFECÇÃO DE UM MOTOR *STIRLING* CASEIRO

Conhecimentos prévios a serem observados pelo professor com os alunos:

- Temperatura
- Temperatura na escala Kelvin
- Pressão
- Volume

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

A partir da confecção de um motor *Stirling* caseiro:

- Identificar as variáveis de estado de um gás
- Identificar as transformações gasosas (isotérmicas, isobáricas e isovolumétricas)

CONTEÚDO PROGRAMÁTICO:

- Variáveis de estado de um gás
- Transformações gasosas

METODOLOGIA

Divisão da turma em grupos

Análise das etapas de funcionamento do motor *Stirling* para identificar as possíveis transformações gasosas

RECURSOS DIDÁTICOS

- Motor *Stirling* caseiro montado pelos grupos
- Quadro branco, pincel para quadro, apagador;
- Caderno para anotações

Aula III: INTRODUÇÃO AO ESTUDO DA TERMODINÂMICA A PARTIR DO MOTOR STIRLING

Conhecimentos prévios a serem observados pelo professor com os alunos:

- Energia
- Energia térmica
- Calor
- Transmissão de calor
- Trabalho mecânico

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Identificar os conceitos de calor, trabalho termodinâmico, energia interna e variação de energia interna

CONTEÚDO PROGRAMÁTICO:

- Introdução aos conceitos da termodinâmica
- Calor
- Trabalho
- Energia interna
- Variação da energia interna

METODOLOGIA

Cada grupo, com o seu respectivo motor, busca identificar os conceitos trabalhados em termodinâmica

RECURSOS DIDÁTICOS

- Motor *Stirling* caseiro
- Quadro branco, pincel para quadro, apagador;
- Caderno para anotações

Aula IV: A PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA E O MOTOR *STIRLING*

Conhecimentos prévios a serem observados pelo professor com os alunos:

- Trabalho
- Variação de energia interna
- Calor

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Identificar as grandezas relacionadas à primeira lei da termodinâmica
- Verificar como se relacionam as grandezas relacionadas com a primeira lei

da termodinâmica

CONTEÚDO PROGRAMÁTICO:

- Primeira lei da termodinâmica

METODOLOGIA

Cada grupo, com seu respectivo motor, vai identificar como as grandezas calor, trabalho e variação de energia interna se relacionam no que diz respeito à primeira lei da termodinâmica

RECURSOS DIDÁTICOS

- Motor *Stirling* caseiro
- Quadro branco, pincel para quadro, apagador;
- Caderno para anotações

Aula V: UTILIZANDO O MOTOR *STIRLING* PARA EXEMPLIFICAR TRANSFORMAÇÕES CÍCLICAS

Conhecimentos prévios a serem observados pelo professor com os alunos:

- Transformações gasosas
- Primeira lei da termodinâmica

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

• Identificar a importância de se conhecer uma transformação cíclica, bem como suas etapas

- Relacionar os diferentes tipos de transformações cíclicas
- Identificar nas transformações cíclicas a primeira lei da termodinâmica

CONTEÚDO PROGRAMÁTICO:

Transformações cíclicas

A primeira lei da termodinâmica e as transformações cíclicas

METODOLOGIA

- Cada grupo, com seu respectivo motor, vai identificar as várias etapas das transformações cíclicas no funcionamento do motor

- Procurar relacionar primeira lei termodinâmica e as transformações cíclicas

RECURSOS DIDÁTICOS

- Motor *Stirling* caseiro
- Quadro branco, pincel para quadro, apagador;
- Caderno para anotações

Aula VI: UTILIZANDO O MOTOR *STIRLING* PARA ESTUDAR A SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA E AS MÁQUINAS TÉRMICAS

Conhecimentos prévios a serem observados pelo professor com os alunos:

- Primeira lei da termodinâmica
- Transformações cíclicas
- Máquinas a vapor
- Motores à explosão

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Identificar as grandezas relacionadas à segunda lei da termodinâmica
- Verificar como se relacionam as grandezas relacionadas com a segunda lei da termodinâmica

- Identificar as etapas de funcionamento de uma máquina térmica, no que se ao estudo das máquinas térmicas

- Comparar o funcionamento do motor *Stirling* com o funcionamento de outras máquinas térmicas

CONTEÚDO PROGRAMÁTICO:

- Máquinas térmicas
- Segunda lei da termodinâmica
- Ciclos termodinâmicos

METODOLOGIA

Cada grupo vai identificar as partes que constituem uma máquina térmica, bem como as etapas de funcionamento das mesmas;

Analisar, a partir das definições dadas para a segunda lei da termodinâmica, sua relação com o funcionamento das máquinas térmica e em especial ao ciclo *Stirling*;

- Comparar o ciclo *Stirling* com os demais ciclos (trabalhados nos livros didáticos)

RECURSOS DIDÁTICOS

- Motor *Stirling* caseiro
- Quadro branco, pincel para quadro, apagador;
- Caderno para anotações

Aulas VII e VIII: VERIFICAÇÃO DE APRENDIZAGEM

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Avaliar o nível de retenção por parte dos alunos dos conhecimentos abordados

CONTEÚDO PROGRAMÁTICO:

Todos os conteúdos abordados nessa unidade

METODOLOGIA

- Por meio de atividades em grupo, com participação oral, e também por meio de atividades escritas, buscar avaliar o nível de retenção, por parte dos alunos, dos conteúdos trabalhados

RECURSOS DIDÁTICOS

- Motor *Stirling* caseiro montado pelos grupos
- Lista de atividades impressas
- Atividades avaliativas em grupo

O propósito do nosso produto é a construção de um motor *Stirling* artesanal, com material de baixo custo e usar o respectivo motor de formas que o mesmo sirva para que sejam trabalhados os conteúdos de Termodinâmica no Ensino Médio, bem como, com a utilização desse “aparato experimental” propiciar aos estudantes uma aprendizagem significativa e mais duradoura.

Mais do que um mero instrumento motivador para as aulas, a utilização do motor *Stirling* artesanal tem foco na aprendizagem a partir da manipulação do respectivo aparato por parte dos alunos, seus construtores, seja possível ancorar os conceitos necessários à aprendizagem de forma mais efetiva dos conceitos necessários ao estudo da termodinâmica.

A seguir, algumas respostas dos estudantes em algumas atividades propostas durante as aulas.

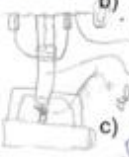
- Após a oficina de montagem do motor e momento de sistematização:

FIGURA 21: Algumas respostas dos alunos após a oficina e sistematização

a) Descreva, de forma resumida, as etapas necessárias para fazer o motor *Stirling* caseiro, funcionar.

Se inserido uma vela em baixo do sistema para aquecer a esponja de aço e o arame e fazer girar o outro arame.

b) Faça um desenho esquemático do motor *Stirling* identificando no mesmo onde se encontra: a fonte quente, a fonte fria e fluido de trabalho.



c) Usando a primeira Lei da Termodinâmica, explique o funcionamento do motor *Stirling* caseiro.

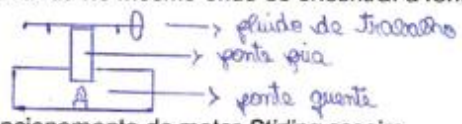
O sistema recebe uma quantidade de calor (pela vela) na qual será distribuído para a realização de trabalho e para o aumento da energia interna (temperatura), fazendo-o funcionar.

Sobre o funcionamento do Motor *Stirling*:

a) Descreva, de forma resumida, as etapas necessárias para fazer o motor *Stirling* caseiro, funcionar.

ao aquecer o cilindro através da vela faz com que ocorra um ciclo, e assim entrar em funcionamento.

b) Faça um desenho esquemático do motor *Stirling* identificando no mesmo onde se encontra: a fonte quente, a fonte fria e fluido de trabalho.



c) Usando a primeira Lei da Termodinâmica, explique o funcionamento do motor *Stirling* caseiro.

O calor fornecido pela vela faz com que haja um trabalho e consequentemente a variação da energia interna.

Fonte: Autoria própria (obtidos a partir de escaneamento das respostas dos grupos)

- Sobre Estudo dos gases (aulas I e II)

FIGURA 22: Algumas respostas sobre estudo dos gases

I. Sobre Estudos dos Gases:

a) o que acontece com um gás quando sua temperatura muda? E se mudar o volume ou a pressão? Identifique essas mudanças analisando o seu motor *Stirling*.

acontece uma agitação dos partícula, quando muda a temperatura, Expansão, quando muda o volume e pressão.

b) É possível identificar quando o gás tem sua temperatura mantida constante?

Sim, pois o motor começa a funcionar e não para até que a vela seja apagada. (O calor não é interrompido)

c) É possível identificar quando o gás tem seu volume alterado? Quando?

Sim, quando ele começa a realizar o trabalho

I. Sobre Estudos dos Gases:

a) o que acontece com um gás quando sua temperatura muda? E se mudar o volume ou a pressão? Identifique essas mudanças analisando o seu motor *Stirling*.

potencia o fenômeno nomeado "agitação das moléculas", forçando o gás se expandir. Se houver a mudança do volume ou da pressão, ocorre o trabalho e a expansão

b) É possível identificar quando o gás tem sua temperatura mantida constante?

Não há variação da energia interna

c) É possível identificar quando o gás tem seu volume alterado? Quando?

É possível, quando o volume é positivo, ocorre a expansão, e quando o motor começa a funcionar, e quando o volume é negativo, ocorre compressão

I. Sobre Estudos dos Gases:

a) o que acontece com um gás quando sua temperatura muda? E se mudar o volume ou a pressão? Identifique essas mudanças analisando o seu motor *Stirling*.

O gás se expande e com a mudança do volume e da pressão ocorre o trabalho.

b) É possível identificar quando o gás tem sua temperatura mantida constante?

Sim, pois quando há agitação dos moléculas ocorre o trabalho. Já quando o trabalho ainda não é realizado e quando o gás mantém sua temperatura constante

c) É possível identificar quando o gás tem seu volume alterado? Quando?

Sim, quando o trabalho é realizado.

Fonte: Autoria própria (obtidos a partir de escaneamento das respostas dos grupos

- Sobre Trabalho Termodinâmico

FIGURA 23: Algumas respostas sobre Trabalho Termodinâmico

a) É possível afirmar que, no funcionamento do motor *Stirling*, há realização de trabalho? Quando?

Sim, quando a pressão aumenta, o pistão é empurrado fazendo com que a roda gire.

b) Em que etapa podemos identificar que o trabalho é positivo? E negativo?

Quando o trabalho é realizado pelo gás, é positivo
Quando o trabalho é realizado sobre o gás, é negativo

a) É possível afirmar que, no funcionamento do motor *Stirling*, há realização de trabalho? Quando?

Sim, pois com a pressão e variação de volume ocorre a realização de trabalho.

b) Em que etapa podemos identificar que o trabalho é positivo? E negativo?

POSITIVO → COM O AUMENTO DO VOLUME, CONSEQUENTEMENTE A BEXIGA IRÁ SE EXPANDIR
NEGATIVO → OCORRERÁ JUSTAMENTE O CONTRÁRIO.

a) É possível afirmar que, no funcionamento do motor *Stirling*, há realização de trabalho? Quando?

Sim, quando varia o volume, pressão e temperatura.

b) Em que etapa podemos identificar que o trabalho é positivo? E negativo?

Positivo → quando o motor funciona (expande o gás)
Negativo → quando comprime o gás

a) É possível afirmar que, no funcionamento do motor *Stirling*, há realização de trabalho? Quando?

Sim, as variáveis se alteram de acordo com o recebimento de calor realizando trabalho.

b) Em que etapa podemos identificar que o trabalho é positivo? E negativo?

Quando a temperatura aumenta, o volume também aumenta e o gás realiza trabalho (+). Quando a temperatura diminui, o volume diminui e o trabalho é negativo (sob o gás).

Fonte: Autoria própria (obtidos a partir de escaneamento das respostas dos grupos)

- Sobre a Primeira Lei da Termodinâmica

FIGURA 24: Algumas respostas sobre a Primeira Lei da Termodinâmica

a) O que acontece com o funcionamento do motor se om mesmo for alimentado por uma fonte de calor mais potente?

Quanto mais potente a fonte de calor, maior a energia interna, reduzindo o trabalho.

b) É possível se identificar, no funcionamento do motor *Stirling*, que tipo de tipo de transformações ocorrem?

Transformações isotérmica e isovolumétrica.

a) O que acontece com o funcionamento do motor se om mesmo for alimentado por uma fonte de calor mais potente?

Haverá maior agitação das moléculas.

b) É possível se identificar, no funcionamento do motor *Stirling*, que tipo de tipo de transformações ocorrem?

Pressão constante → isobárica
 Temperatura " → isotérmica
 Volume " → isovolumétrica
 Quando não há troca de calor → adiabática

3. Sobre a Primeira Lei da Termodinâmica?

a) O que acontece com o funcionamento do motor se om mesmo for alimentado por uma fonte de calor mais potente?

Ocorre a mesma realização de trabalho, apenas de forma mais rápida.

b) É possível se identificar, no funcionamento do motor *Stirling*, que tipo de tipo de transformações ocorrem?

→ ISOTÉRMICA.

Fonte: Autoria própria (obtidos a partir de escaneamento das respostas dos grupos

Essas foram algumas respostas dos estudantes nos momentos de aplicação do produto educacional.

Durante a aplicação, houve um bom engajamento dos estudantes, principalmente no que se referia à atividade experimental. Todos ficavam bem

animados e demonstrando interesse pelo aparato, bem como pelas investigações que iam fazendo, à medida que os conteúdos das aulas eram trabalhados.

Também foi perguntado aos estudantes, ao final da aplicação do produto quais suas impressões e opiniões sobre como os conteúdos de termodinâmica foram aplicados.

A seguir estão transcritas algumas das opiniões dos alunos, identificados de forma genérica por Estudante 1, Estudante 2, e assim por diante, como forma de preservar suas identidades.

- Estudante 1 – “Foi uma maneira de ter aulas que eu nunca tive. A oportunidade de produzir um material com minhas próprias mãos foi algo maravilhoso. Além disso poder, a partir de algo construído por mim, poder ver conteúdos trabalhados em sala de aula foi muito enriquecedor.”
- Estudante 2 – “Nunca tive uma matéria a oportunidade de construir um equipamento e esse equipamento por mim construído servir como um suporte para as aulas trabalhadas pelo professor. E o mais incrível foi perceber que os conceitos que o professor ia trabalhando nas aulas surgiram da minha interpretação dada para as observações que eu e meus colegas de grupo fizemos no nosso equipamento.”
- Estudante 3 – “Consegui, com meus colegas de grupo, construir um motor com material de sucata e, depois de construído o motor, foi possível usar o motor para servir como uma forma de ver na prática o que o professor ia trabalhando na aula. Também foi possível para nós do grupo, darmos as definições que o professor ia trabalhando nas aulas.”
- Estudante 4 – “Eu e meus colegas de grupo tivemos a oportunidade de construir um motor *Stirling* que serviu como para que a gente fosse formando nossos conceitos, observando o motor funcionando e os direcionamentos dados pelo professor. Foi gratificante ver que algo construído por nós servindo de material de apoio para o que a gente estava estudando.
- Estudante 5 – “Foi uma experiência maravilhosa, pois pude ver, a partir do motor que construí com meus colegas, a construção de conceitos por nós mesmos, ao observarmos o nosso motor em funcionamento. Foi muito bom perceber que nós mesmos, com um direcionamento do professor, surgir de

nossa própria cabeça as definições que o professor foi usando em nossas aulas. Sobre termodinâmica.”

Por esses relatos, que dão uma visão geral do que foi o pensamento de grande maioria da turma, acreditamos que a aplicação do produto foi satisfatória, pois percebemos a maneira como os alunos respondiam os questionamentos e introduziam suas definições, definições essas que eram alavancadas a partir do que a manipulação do motor *Stirling* por eles criados trazia de conhecimentos prévios que os mesmos possuíam.

A aplicação do produto apresentou alguns limites impostos com a escrita, principalmente por parte de alguns alunos, onde algumas vezes eram utilizadas argumentações até certo ponto simplistas e, em alguns casos, incoerentes com as respostas esperadas como corretas. Acreditamos que estes limites estejam relacionados à falta de destreza para escrever ou expressar as observações percebidas.

Ao analisarmos o que foi observado e produzido em sala de aula, mais especificamente durante a aplicação do produto educacional, pudemos perceber que os objetivos motivacionais e pedagógicos propostos pela utilização do motor *Stirling* artesanal como um instrumento capaz de servir de organizador prévio para os conteúdos de termodinâmica no ensino médio foram atingidos de maneira satisfatória.

5 Considerações finais

Em nossa atuação docente, nós professores sabemos o quão difícil é despertar e manter o interesse dos nossos estudantes no que se está sendo discutido e apresentado em sala de aula. O mundo que se apresenta aos nossos estudantes é o mundo da informação, do conhecimento instantâneo, da velocidade, de se ter conhecimento atrás de um clique.

É buscando melhoria para esse quadro que hora se apresenta em nossas salas de aulas que o professor precisa, lançando mãos de ações pedagógicas que visem contribuir de maneira favorável para a aprendizagem dos nossos estudantes, buscando metodologias de trabalho que possam despertar e prender a atenção dos mesmo não por ser algo que sirva apenas a isso: prender a atenção, mas que traga a ciência para a sala de aula, traga o conhecimento científico para a vida dos nossos estudantes e mostre que ele, o conhecimento científico, não é parte apenas das frias páginas dos livros didáticos.

Para que estas ações pedagógicas surtam o efeito esperado, elas devem entrelaçar a atuação do professor com o despertar do aluno para a sala de aula.

É tendo essa óptica que o desenvolvimento e aplicação de atividades experimentais que tenham relação com a vida cotidiana dos nossos estudantes dão um novo alento para o processo ensino aprendizagem, à medida que podem despertar nestes a tão desejada atenção e participação ativa, como atores na formação de seu próprio conhecimento.

Foi pensando na atividade experimental como uma ferramenta para muito além de ser apenas algo chamativo ao estudante, mas com uma proposta mais profunda: servir como um organizador prévio para ancorar conteúdos de termodinâmica, que o nosso produto educacional foi gerado.

No produto buscou-se incorporar o princípio investigativo à prática pedagógica, de modo que o papel do professor seja o de mediador na construção dos conceitos por parte dos alunos, colocando-se como um facilitador da transposição entre o que é ensinado e o que é aprendido. Daí se destaca o papel de protagonista do professor nos processos de mediação da construção dos conhecimentos e no desenvolvimento cognitivo dos alunos.

A atividade experimental proposta teve como motivação, a partir da construção do motor *Stirling* caseiro, trazer à tona e inserir no cognitivo dos conceitos ainda não estudados sobre o ensino de termodinâmica, para que estes mesmos conceitos se servissem de base os conteúdos que seriam trabalhados nas aulas que se seguiram após a atividade experimental.

Buscamos com o nosso produto, tomando como referência a aprendizagem significativa de David Ausubel, partindo da construção de um motor *Stirling* fabricado com material de baixo custo, lançar mão da atividade experimental como um ancoradouro para os conhecimentos de termodinâmica buscando, a partir das concepções prévias dos estudantes, ancorar tais concepções de modo a propiciar uma aprendizagem significativa e duradoura sobre os temas abordados.

Percebi, durante a aplicação do produto a que essa dissertação faz referência, que além de um agente motivador, por ser experimental e ser algo construído pelo próprio estudante, a atividade proposta serviu também que fossem os alcançados objetivos a que essa atividade se propôs: ser um organizador prévio para o ensino de termodinâmica.

Pude perceber também que, ao trazermos os conceitos de termodinâmica por meio da atividade experimental investigativa, onde os alunos foram instigados a tirarem suas próprias conclusões, elaborarem seus conceitos, se mostrou uma excelente forma de oportunizar o conhecimento científico de forma mais ativa, o que contribuiu em muito para a sua autonomia quanto a sua atuação como protagonista dentro do processo de ensino aprendizagem.

Além disso, foi meta nossa obtermos com a aplicação dessa proposta, que é uma intervenção de forma qualitativa na construção de uma ferramenta que venha a servir de organizador prévio para os conceitos de termodinâmica, contribuir para uma aprendizagem significativa dos estudantes, proporcionando também aos mesmos uma nova visão para o que é física.

Uma constatação feita após a aplicação da primeira etapa do produto, que era a construção do aparato experimental, foi que os estudantes continuaram motivados segunda etapa, as aulas com o uso da apostila de Estudo dos Gases e Termodinâmica, pois eles estavam usando o aparato desenvolvido como suporte para as aulas consideradas “chatas” por estarem atreladas a um material didático, em sala de aula. Durante essa etapa, a grande maioria da turma continuou participando de

maneira proativa, buscando a cada nova tema tratado na aula uma justificativa ou aplicação no motor montado por eles.

Neste sentido, podemos afirmar que a intervenção didática proposta, aliada à metodologia usada, mostrou ser uma ferramenta de um grande potencial no tocante a mobilização dos estudantes para tornar as aulas mais atrativas e a física mais viva no cotidiano da vida de cada um, ajudando a quebrar o paradigma de que a física do é difícil de ser entendida e que a maioria dos conteúdos dos livros didáticos está fora da vida do estudante.

A aplicação da proposta encontrou alguns limites, impostos por algumas dificuldades encontradas, como a falta de destreza de alguns alunos ao realizarem a atividade de construção do aparato. Esta dificuldade foi sanada em parte pela formação dos grupos, haja vista que, nos grupos um outro tinha maior destreza, ajudando os que tinham essa dificuldade.

Outra dificuldade, esta um pouco mais difícil de ser sanada, por ser tratar de algo muito presente em nossas escolas, se refere a escrita. Alguns alunos tinham dificuldade em transcrever para o papel as ideias, e conceitos, tratados nas atividades propostas. Sanar esta dificuldade é ainda um desafio não só para a disciplina de física, mas para todo o contexto escolar.

Apesar destas dificuldades, acreditamos que produto educacional proposto pode se configurar como uma boa ferramenta para o que se propôs: ser um organizador prévio para os conhecimentos de termodinâmica.

Em meu papel como educador, vejo esta proposta de produto como uma ferramenta instigadora, e também desafiadora. Desafiadora porque nos leva a sair da “mesmice” das aulas de quadro e giz, vinculadas tão somente ao livro didática, por nos oportunizar uma metodologia diferenciada, capaz de permitir uma aprendizagem significativa e durados para os nossos estudantes. E instigadora por nos levar a refletir sobre nossa atuação docente, a refletir sobre o nosso papel e o papel que estamos delegando aos nossos estudantes, nos levando a quebrar os nossos vínculos com o “tradicional” e buscando o novo, uma nova maneira de agirmos em nossa atuação docente.

A aplicação do produto nos trouxe parâmetros para uma reflexão sobre a nossa atuação como professor, nos levando a refletir sobre o tratamento dado aos conteúdos de aprendizagem a serem desenvolvidos em uma ação pedagógica que

tenha como objetivo uma aprendizagem significativa e duradoura para os nossos estudantes.

Pelo que foi posto, acreditamos que a aplicação da proposta que acompanha esse produto educacional se constitui em uma forma de contribuir para uma Aprendizagem Significativa dos atores envolvidos na proposta, os estudantes, que atuando como protagonista na construção dos seus próprios conceitos, desenvolvem sua capacidade de serem cidadãos atuantes na sociedade a que pertencem.

É desejo nosso que tal produto possa servir para nortear outros docentes, ajudando na melhoria da prática destes em sua atuação como professores formadores de cidadãos autônomos e atuantes, e que seja também um instrumento que fomente novas práticas e discussões sobre a atuação docente que tenha como foco a melhoria na qualidade da educação.

Referências

- Afonso, C. F. (2012). *Termodinâmica para Engenharia, 1ª ed.* Porto, Portugal: FEUP Edições (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto).
- Andrade, M. L., & Massabni, V. G. (2011). O DESENVOLVIMENTO DE ATIVIDADES PRÁTICAS NA ESCOLA: UM DESAFIO PARA OS PROFESSORES DE CIÊNCIAS. *Ciência & Educação*, v. 17, n. 4, pp. 835-854.
- Araújo, M. S., & Abib, M. L. (junho de 2003). Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 25, no. 2, 176-194.
- ASSIS, A., AMORIM, C., & CARVALHO, F. (2009). O uso do motor Stirling no ensino de termodinâmica: uma estratégia metodológica. *Enseñanza de las Ciencias, Número Extra*, 218-222. Acesso em setembro de 2019, disponível em <http://ensciencias.uab.es/congreso09/numeroextra/art-218-222.pdf>
- Aurani, K. M. (1986). Ensino de conceitos: estudo das origens da 2ª Lei da Termodinâmica e do conceito de entropia a partir do século XVIII. *Dissertação de Mestrado*. São Paulo: Universidade de São Paulo.
- Ausubel, D. P. (2003). *Aquisição e retenção de conhecimentos: Uma perspectiva cognitiva*. Lisboa: Editora Plátano.
- Axt, R. (1991). *O papel da experimentação no Ensino de Ciências*. In: MOREIRA, M. A. & AXT, R. *Tópicos de Ensino de Ciências*. Porto Alegre: Editora Sagra.
- Axt, R., Moreira, M. A., & Silveira, F. L. (dezembro de 1990). Experimentação seletiva e associada à teoria como estratégia para facilitar a reformulação conceitual em física. *Revista de Ensino de Física*, vol. 12, 139-158.
- Barros, R. W. (2005). Avaliação Teórica e Experimental do Motor Stirling Modelo Solo 161 Operando com Diferentes Combustíveis. *Dissertação (Mestrado em Conversão de Energia)*. Itajubá : Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá.

- BOLZAN, E. C., LIMA, W. V., LOBO, C., & LÜDKE, E. (OUTUBRO de 2017). PRINCÍPIOS DE TERMODINÂMICA PARA O ENSINO DE FÍSICA: EXPERIMENTO DE MOTOR DE STIRLING. *Vivências: Revista Eletrônica de Extensão da URI*; v. 13 n. 25, 210-218. Acesso em outubro de 2019, disponível em http://www2.reitoria.uri.br/~vivencias/Numero_025/artigos/pdf/Artigo_21.pdf
- Bonjorno, J. R., Ramos, C. M., & Alves, L. A. (2016). *Física: terminologia, óptica, ondulatória. 3ª edição Coleção Física*. São Paulo: FDT.
- Borges, A. T. (1997). O Papel do laboratório no ensino de Ciências. *I ENPEC (Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências)*, (pp. 02-11). Águas de Lindóia (SP). Fonte: http://abrapecnet.org.br/atas_enpec/ienpec/ienpec.html
- BORGES, A. T. (Dezembro de 2002). Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, pp. 291-313.
- Brasil. (2002). PCN+ ensino médio: orientações educacionais complementares aos parâmetros. Brasília, Brasil. Acesso em 2019, disponível em <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>
- Brasil. (2006). *ORIENTAÇÕES CURRICULARES PARA O ENSINO MÉDIO: CIÊNCIAS DA NATUREZA, MATEMÁTICA E SUAS TECNOLOGIAS*. Acesso em 15 de março de 2019 de MARÇO de 2019, disponível em [portal.mec.gov.br: http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf](http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf)
- Carvalho, A. M. (2010). As práticas experimentais no ensino de física. Em A. M. Carvalho, & (org.), *Ensino de Física. Coleção Ideias em Ação* (pp. 53-78). São Paulo: Cengage Learning.
- Carvalho, A. M. (2013). O ensino de ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. Em A. M. Carvalho, & (ORG.), *Ensino de Ciências por Investigação: Condições para implementação em sala de aula*. (pp. 1-20). São Paulo: Cengage Learning.
- Cerqueira, F. E. (2004). *Ensino interativo de Física: atividades experimentais para ensinar Física*. Itaúna: Laboratórios educacionais Francklin LTDA.

- Delizoicov, D. (1994). *Metodologia do ensino de ciências*. São Paulo: Cortez.
- Erthal, J. P., & Gaspar, A. (2006). ATIVIDADES EXPERIMENTAIS DE DEMONSTRAÇÃO PARA O ENSINO DA CORRENTE ALTERNADA AO NÍVEL DO ENSINO MÉDIO. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 23, n. 3, 345-359.
- Ferreira, N. C. (1978). Proposta de laboratório para a escola brasileira: um ensaio sobre a instrumentação no ensino de Física. *Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - IFUSP/FEUSP*. São Paulo.
- Fracalanza, H., Amaral, I. A., & Gouveia, M. S. (1987). *O ensino de Ciências no Primeiro Grau*. São Paulo: Atual.
- Galiazzi, M. d., & Gonçalves, F. P. (2004). A NATUREZA PEDAGÓGICA DA EXPERIMENTAÇÃO: UMA PESQUISA NA LICENCIATURA EM QUÍMICA. *Química Nova*, Vol. 27, No. 2, 326-331. Acesso em outubro de 2019, disponível em <https://www.scielo.br/pdf/qn/v27n2/19283.pdf>
- Galiazzi, M. d., Rocha, J. M., Schmitz, L. C., Souza, M. L., Giesta, S., & Gonçalves, F. P. (2001). Objetivos das atividades experimentais no Ensino Médio: a pesquisa coletiva como modo de formação de professores de Ciências. *Ciência & Educação*, v.7, n.2, 249-263.
- Gaspar, A. (1997). Cinquenta Anos de Ensino de Física: Muitos Equívocos, Alguns Acertos e a Necessidade do Resgate do Papel do Professor. *Anais do XV Encontro de Físicos do Norte e Nordeste* (pp. 1-13). Natal: SBF. Acesso em agosto de 2019, disponível em https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3360182/mod_resource/content/0/CINQ%20C3%9CENTA%20ANOS%20DE%20ENSINO%20DE%20F%20F%20C3%8DSICA.pdf
- Gaspar, A., & Monteiro, I. C. (2005). ATIVIDADES EXPERIMENTAIS DE DEMONSTRAÇÕES EM SALA DE AULA: UMA ANÁLISE SEGUNDO O REFERENCIAL DA TEORIA DE VYGOTSKY. *Revista Investigações em Ensino de Ciências (IENCI)*, 227-254.

- GRASSELLI, E. C. (2018). Uma abordagem das Máquinas Térmicas no Ensino da Termodinâmica sob a ótica da Aprendizagem Significativa. *Dissertação (MEstrado)*. Medianeira, Paraná: Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física.
- Guimarães, C. C. (2009). Experimentação no Ensino de Química: Caminhos e Descaminhos Rumo à Aprendizagem Significativa. *Química Nova na Escola*, v 31; nº 3, 198-202.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2016). *Fundamentos de Física, volume 2: Gravitação, Ondas e Termodinâmica*. 10ª edição. Rio de Janeiro: Editora: LTC.
- Júnior, F. R., Ferraro, N. G., & Soares, P. A. (2009). *Os Fundamentos da Física. Física 2 10ª edição*. São Paulo: Editora Moderna.
- Kawamura, M. R., & Hosoume, Y. (2003). A Contribuição da Física para um Novo Ensino Médio. *Física na Escola*, v. 4, n. 2, p. 22-27.
- Laburú, C. E., Silva, O. H., & Barros, M. A. (Abril de 2008). Laboratório caseiro - Pára-raios: um experimento simples e de baixo custo para a Eletrostática. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 25, n. 1, 168-182.
- Luz, A. M., & Álvares, B. A. (2008). *Física; volume 2; 1ª edição*. São Paulo: Scipione.
- MAIER, C., GIL, A., AGUILERA, R., SHUANG, L., & YU, X. (11 de novembro de 2007). STIRLING ENGINE. UNIVERSITY OF GÄVLE.
- Malheiro, J. M. (jul/dez de 2016). Atividades experimentais no ensino de ciências: limites e possibilidades. *ACTIO*, v. 1, n. 1, pp. 108-127. Acesso em outubro de 2019, disponível em <http://periodicos.utfpr.edu.br/actio>
- Manacorda, M. A. (2006). *História da Educação: da Antiguidade aos nossos dias*. (12 ed.). São Paulo: Cortez.
- Melo, D. C., Maia, F. P., & Tapia, G. I. (2018). MOTOR STIRLING COMO FERRAMENTA DE AUXÍLIO NO APRENDIZADO DA TERMODINÂMICA. XLVI COBENGE - Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia e 1º Simpósio Internacional de Educação em Engenharia. Salvador / BA.

- Menezes, L. C. (2000). Uma Física para Nvo Ensino Médio. *Física na Escola V.1, n. 1*, p. 6-8.
- Moreira, M. A. (março de 2000). Ensino de Física no Brasil: Retrospectiva e Perspectivas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 22, no. 1, 94-99.
- Moreira, M. A. (2006). *A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula*. Brasília: Editora Universidade de Brasília.
- Moreira, M. A. (2006). *A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula*. Brasília: Editora Universidade de Brasília.
- Moreira, M. A. (2008). ORGANIZADORES PRÉVIOS E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA. *Revista Chilena de Educación Científica*, v. 7, n. 2(revisado em 2012), p. 23-30. Acesso em 20 de outubro de 2019, disponível em <http://moreira.if.ufrgs.br/ORGANIZADORESport.pdf>
- Moreira, M. A. (23 de abril de 2010). O QUE É AFINAL APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA? *Aula Inaugural do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais, Instituto de Física, Universidade Federal do Mato Grosso*. Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.
- Moreira, M. A. (2011). *Teorias de Aprendizagem; 2ª ed. ampl.* São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária.
- MOREIRA, M. A., & GONCALVES, E. S. (1980). Laboratório Estruturado Versus Não Estruturado: Um Estudo Comparativo em um Curso Individualizado. *Revista Brasileira de Física*, Vol. 10, n. 2, 367-381.
- Nardi, R. (2002). MEMÓRIAS DA EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS NO BRASIL: A PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA. *Grupo de Pesquisa em Ensino de Ciências. Departamento de Educação e Programa de Pós Graduação para Ciências. Faculdade de Ciências –Universidade Paulista – UNEP Campus de Bauru. SÃO PAULO, SP, BRASIL. Fonte: http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol10/n1/v10_n1_a4.htm*
- Nascimento, F. d., Fernandes, H. L., & Mendonça, V. M. (setembro de 2010). O ENSINO DE CIÊNCIAS NO BRASIL: HISTÓRIA, FORMAÇÃO DE

PROFESSORES E DESAFIOS ATUAIS. *Revista HISTEDBR On-line*; n. 39, 225-249. Acesso em 25 de julho de 2019, disponível em <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/histedbr/article/view/8639728/7295>

- Oliveira, M. J. (2012). *Termodinâmica* (2ª ed.). São Paulo: Editora Livraria da Física.
- Oliveira, S. K. (2018). Uma proposta investigativa sobre a primeira lei da termodinâmica por meio do motor stirling. *Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte*. Natal, RN.
- Pena, F. L. (2004). Por que, apesar do grande avanço da pesquisa acadêmica sobre ensino de Física no Brasil, ainda há pouca aplicação dos resultados em sala de aula? *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 26, n. 4, 293-295.
- RIBEIRO, J. C. (1955). O ensino experimental da Física no curso secundário. *II Curso de aperfeiçoamento para professores de Física do ensino secundário. Atas do Encontro* (pp. 49-56). São Paulo: IBCEC. MEC-ITA.
- Rocha, R. F., & Dickman, A. G. (maio de 2016). Ensinando Termodinâmica por meio de Experimentos de Baixo Custo. *Abakós, Belo Horizonte*, v. 4, n. 2, 71-93. Acesso em outubro de 2019
- Santana, S. N. (setembro de 2015). *Beco da Física*. Acesso em 30 de outubro de 2019, disponível em becodafisica.blogspot.com: <https://becodafisica.blogspot.com/2015/09>
- Santana, S. N. (2015). <https://becodafisica.blogspot.com>. Acesso em outubro de 2019, disponível em Beco da Física: <https://becodafisica.blogspot.com/2015/09/lei-zero-da-termodinamica.html>
- Santos, E. I., Piassi, L. P., & Ferreira, N. C. (2004). Atividades experimentais de baixo custo como estratégia de construção da autonomia de professores de física: uma experiência em formação continuada. *IX Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física*. Jaboticatubas: MG. Acesso em 18 de outubro de 2019, disponível em <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/ix/sys/resumos/T0058-1.pdf>

- Saraiva-Neves, M., Caballero, C., & Moreira, M. A. (2006). Repensando o papel do trabalho experimental, na aprendizagem da Física, em sala de aula - um estudo exploratório. *Investigações em Ensino de Ciências*(v. 11, n. 3), p. 383-401.
- SCHULZ, D. (2009). Ciclo de Stirling, Aprendizagem significativa de termodinâmica no ensino médio através do estudo de máquinas térmicas como tema motivador. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, UFRGS. Fonte: https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/ciclo_stirling.htm
- Séré, M.-G., Coelho, S. M., & Nunes, A. D. (ABRIL de 2003). O PAPEL DA EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DA FÍSICA. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 20, n. 1, pp. 31-43.
- Silva, J. C., & Leal, C. E. (2017). Proposta de laboratório de física de baixo custo para escolas da rede pública de ensino. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 39, nº 1, p. 1-5. doi:<http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0167>
- Silveira, F. L., & Ostermann, F. (2002). A INSUSTENTABILIDADE DA PROPOSTA INDUTIVISTA DE "DESCOBRIR "DESCOBRIR A LEI A PARTIR DE RESULTADOS EXPERIMENTAIS". *CADERNO CATARINENSE DE ENSINO DE FÍSICA*, V.19, N. ESPECIAL, 7-27.
- Villani, A., & Carvalho, L. O. (1993). Representações mentais e experimentos qualitativos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 15; n. 1-4, 74-89.
- Villani, C. E., & Nascimento, S. S. (2003). A ARGUMENTAÇÃO E O ENSINO DE CIÊNCIAS: UMA ATIVIDADE EXPERIMENTAL NO LABORATÓRIO DIDÁTICO DE FÍSICA DO ENSINO MÉDIO. *Investigações em Ensino de Ciências – V8(3)*, 187-209.
- Violin, A. G. (1979). Atividades experimentais no ensino de física de 1º e 2º grau. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 1, n. 2, p. 13-24.
- Walker, G. (1980). *Stirling Engines*. Oxford: Clarendon Press.
- WIKIPÉDIA. (Julho de 2017). Fonte: Wikipédia A enciclopédia livre: https://pt.wikipedia.org/wiki/Campo_magnético

Zanetic, J. (2005). Física e Cultura. *Ciência e Cultura, São Paulo, v. 57, n. 3, 21-24.*

Fonte: <http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v57n3/a14v57n3.pdf>

Zanon, D. A., & Freitas, D. d. (31 de março de 2007). A aula de ciências nas séries iniciais do ensino fundamental: ações que favoreceram a sua aprendizagem. *Ciências & Cognição, vol. 10, pp. 93-103.*

Zômpero, A. F., & Laburú, C. E. (2011). ATIVIDADES INVESTIGATIVAS NO ENSINO DE CIÊNCIAS: ASPECTOS HISTÓRICOS E DIFERENTES ABORDAGENS. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências, vol. 13, núm. 3, 67-80.*

APÊNDICE – O PRODUTO EDUCACIONAL