

Secretaria
de Educação e
Esportes



GOVERNO DE
**PER
NAM
BU**CO
ESTADO DE MUDANÇA

Unidade Curricular

Máquinas térmicas e Combustíveis alternativos

Material de apoio à ação docente

PERNAMBUCO

Secretaria
de Educação e
Esporte



GOVERNO DE
**PER
NAM
BU**CO
ESTADO DE MUDANÇA

SECRETARIA EXECUTIVA DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO
GERÊNCIA GERAL DE ENSINO MÉDIO E ANOS FINAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL
GERÊNCIA GERAL DE POLÍTICAS EDUCACIONAIS DO ENSINO MÉDIO

Secretário de Educação e Esportes
Ivaneide Dantas

Secretário Executivo Planejamento e Coordenação
Mônica Maria Andrade

Secretária Executiva de Desenvolvimento da Educação
Tárcia Regina da Silva

Secretária Executiva de Educação Integral e Profissional
Ana Cristina Dias

Secretário Executivo de Administração e Finanças
Gilson Monteiro Filho

Secretário Executivo de Gestão da Rede
Igor Fontes Cadena

Secretário Executivo de Esportes
Luciano Leonídio

SECRETARIA EXECUTIVA DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO
GERÊNCIA GERAL DE ENSINO MÉDIO E ANOS FINAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL
GERÊNCIA GERAL DE POLÍTICAS EDUCACIONAIS DO ENSINO MÉDIO

Equipe de elaboração

José Altenis dos Santos
Milton Matos Rolim

Equipe de coordenação

Ana Carolina Ferreira de Araújo
Gerente de Políticas Educacionais do Ensino Médio (GEPEM/SEDE)

Janine Furtunato Queiroga Maciel
Chefe da Unidade do Ensino Médio (GEPEM/SEDE)

Revisão

Andrezza Shirlene Figueiredo de Souza
Márcia Vandineide Cavalcante

Sumário

1. Apresentação	5
2. Máquinas Térmicas e o Ciclo de Carnot	9
Orientações para realização de atividades	12
Orientações para a avaliação	13
3. Segunda Lei da Termodinâmica e Entropia	14
Orientações para realização de atividades	17
Orientações para a avaliação	17
4. Impacto Ambiental das Máquinas Térmicas	18
Orientações para realização de atividades	23
Orientações para a avaliação	23
5. Motores Elétricos, Híbridos e Células Combustível	24
Orientações para realização de atividades	26
Orientações para a avaliação	27
6. Eficiência de Motores a Combustão e Elétricos	27
Orientações para realização de atividades	29
Orientações para a avaliação	29
7. Referencial bibliográfico	30

I. Apresentação

Prezado/a professor/a.

Máquinas Térmicas e Combustíveis Alternativos é uma Unidade Curricular (UC) presente nos Itinerários Formativos do Novo Ensino Médio da Rede Pública Estadual de Pernambuco e está fundamentada pela Portaria nº 1.432/2018, do Ministério da Educação, que orienta a elaboração dos Itinerários Formativos. Esta Unidade Curricular se encontra na trilha intitulada “*Meio Ambiente e Sociedade*” da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias para ser ministrada no 3º ano no 1º semestre.

Esta Unidade Curricular tem como eixos estruturantes: *Processos Criativos e Mediação e Intervenção Sociocultural*. De acordo com este referencial, o Eixo Estruturante *Processos Criativos* tem como ênfase a expansão da capacidade de idealizar e realizar projetos criativos ligados a uma ou mais Áreas de Conhecimento, à Formação Técnica e Profissional e a temáticas de seu interesse, a partir de três objetivos:

1. Aprofundar conhecimentos sobre as artes, as culturas, as mídias e as ciências aplicadas e sobre como utilizá-los para a criação de processos e produtos criativos;
2. Ampliar habilidades relacionadas ao pensar e fazer criativo;
3. Utilizar esses conhecimentos e habilidades em processos de criação e produção voltados à expressão criativa e/ou à construção de soluções inovadoras para problemas identificados na sociedade e no mundo do trabalho.

Ainda segundo a Portaria 1.432/2018, o Eixo Estruturante *Mediação e Intervenção Sociocultural* tem como ênfase ampliar a capacidade de utilizar conhecimentos relacionados a uma ou mais Áreas, à Formação Técnica e Profissional, além de temas de seu interesse para realização de projetos que contribuam com a sociedade e o meio ambiente, a partir de três objetivos:

**SECRETARIA EXECUTIVA DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO
GERÊNCIA DE POLÍTICAS EDUCACIONAIS DO ENSINO MÉDIO**

1. Aprofundar conhecimentos sobre questões que afetam a vida dos seres humanos e do planeta em nível local, regional, nacional e global, e compreender como podem ser utilizados em diferentes contextos e situações;
2. Ampliar habilidades relacionadas à convivência e atuação sociocultural;
3. Utilizar esses conhecimentos e habilidades para mediar conflitos, promover entendimentos e propor soluções para questões e problemas socioculturais e ambientais identificados em suas comunidades.

Em Pernambuco, a Unidade Curricular *Máquinas Térmica e Combustíveis Alternativos* foi elaborada a partir da construção coletiva dos/as professores/as, almejando promover uma discussão acerca do desenvolvimento e do aprofundamento do pensamento e do conhecimento, de forma a contribuir para o desenvolvimento de uma postura de protagonismo do estudante privilegiando a sua participação em campos da vida pública.

Para atingir esses objetivos, a Unidade Curricular *Máquinas Térmicas e Combustíveis Alternativos* está balizada em *focos pedagógicos* que enfatizam o passo a passo para vivência de percurso formativo. São eles:

1. Identificação e aprofundamento de um tema ou problema, que orientará a posterior elaboração, propondo e testando soluções éticas, estéticas, criativas e inovadoras para estudos da termodinâmica (máquinas térmicas e as Leis da Termodinâmica) e do eletromagnetismo (motores elétricos).
2. Apresentação e difusão de uma ação, produto, protótipo, modelo ou solução criativa, tais como obras e espetáculos artísticos e culturais, campanhas e peças de comunicação, programas, aplicativos, jogos, robôs, circuitos, entre outros produtos analógicos e digitais, para propor ações individuais e/ou coletivas no consumo de combustíveis fósseis, em comparação às fontes alternativas de propulsão para encontrar soluções socioculturais e ambientais, considerando a aplicação de design de soluções e o uso de tecnologias digitais.
3. Ampliação de conhecimentos sobre o problema a ser enfrentado, selecionando e mobilizando conhecimentos e recursos da termodinâmica (máquinas térmicas e as Leis da Termodinâmica) e do eletromagnetismo (motores elétricos).
4. Planejamento, execução e avaliação de uma ação social e/ou ambiental que responda às necessidades e interesses do contexto, para propor ações individuais e/ou coletivas no consumo de combustíveis fósseis, em comparação às fontes alternativas de propulsão para encontrar soluções socioculturais e ambientais.

SECRETARIA EXECUTIVA DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO
GERÊNCIA DE POLÍTICAS EDUCACIONAIS DO ENSINO MÉDIO

Enquanto estratégia para materialização dos objetivos citados, estabeleceram-se, no Currículo de Pernambuco duas habilidades específicas, uma para cada eixo estruturante:

Processos Criativos - (EMIFCNT06PE) Propor e testar soluções éticas, estéticas, criativas e inovadoras para estudos da termodinâmica (máquinas térmicas e as Leis da Termodinâmica) e do eletromagnetismo (motores elétricos), para propor ações individuais e/ou coletivas no consumo de combustíveis fósseis, em comparação às fontes alternativas de propulsão para encontrar soluções socioculturais e ambientais, considerando a aplicação de design de soluções e o uso de tecnologias digitais.

Mediação e Intervenção Sociocultural - (EMIFCNT08PE) Selecionar e mobilizar conhecimentos e recursos da termodinâmica (máquinas térmicas e as Leis da Termodinâmica) e do eletromagnetismo (motores elétricos) para propor ações individuais e/ou coletivas no consumo de combustíveis fósseis em comparação às fontes alternativas de propulsão para encontrar soluções socioculturais e ambientais.

Esta Unidade Curricular tem como **ementa**:

Conhecimento dos princípios de funcionamento de uma máquina térmica (rendimento, ciclo de Otto e ciclo de Carnot). Estudo e aprofundamento dos impactos socioambientais e da utilização de máquinas térmicas (revolução industrial, emissão de poluentes e efeito estufa). Compreensão da 2ª lei da termodinâmica (processos irreversíveis, desordem e entropia). Reconhecimento de formas alternativas de propulsão automotiva (motores elétricos, híbridos e células de hidrogênio). Compreensão da eficiência energética de motores a combustão e elétricos (PERNAMBUCO, 2021, p. 413-414).

Dessa forma, este material de apoio à ação docente está estruturado nos princípios e focos pedagógicos ora descritos, explorando, inicialmente, as habilidades do Eixo Estruturante Investigação Científica, estimulando a *curiosidade científica*, no trato das questões ambientais, enquanto elemento fundamental para despertar o interesse e mobilizar os/as estudantes para o desenvolvimento das habilidades específicas desta Unidade Curricular. Orienta-se, aqui, que seja explorado o protagonismo do estudante na busca da compreensão das questões ambientais, em especial com relação à 2ª Lei da Termodinâmica, e da busca de soluções que atendam a atuação na sociedade em que está inserido de forma propositiva.

Entendemos que a questão ambiental aqui abordada é de vital importância para um tratamento ambientalmente adequado e ético das questões de sustentabilidade e saúde pública, em especial, na área urbana. Atentar para as necessidades locais, para os interesses da

**SECRETARIA EXECUTIVA DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO
GERÊNCIA DE POLÍTICAS EDUCACIONAIS DO ENSINO MÉDIO**

comunidade e para a curiosidade dos estudantes pode ser um caminho promissor para a feitura de projetos que apresentem “soluções” ainda que provisórias, como é próprio da ciência em geral, em uma perspectiva de aprimoramento constante destas soluções.

Para facilitar a organização do professor, este material está dividido em tópicos. O primeiro tópico, proposto no item 2, refere-se a *Máquinas Térmicas e o Ciclo de Carnot*. O segundo tópico, proposto no item 3, está relacionado com a *Segunda Lei da Termodinâmica*. O terceiro tópico, proposto no item 4, diz respeito ao *Impacto Ambiental das Máquinas Térmicas*. O quarto tópico, proposto no item 5, é sobre *Motores Híbridos e Células Combustível*. Finalmente, o quinto tópico, proposto no item 6, está relacionado com a *Eficiência de Motores a Combustão e Elétricos*.

Portanto, este material de apoio não pretende ser exclusivo ao desenvolvimento desta Unidade Curricular, traz uma compilação de conceitos, elementos fundamentais e práticas pedagógicas para subsidiar o trabalho do/a professor/a. Este/a deve tecer seus planejamentos de forma autônoma e crítica, fomentado nos documentos orientadores, nas suas experiências enquanto professor/a-pesquisador/a e outras fontes de estudos que acharem pertinentes.

2. Máquinas Térmicas e o Ciclo de Carnot

Neste item, o professor deve trabalhar com os alunos, a parte da ementa que diz: *Conhecimento dos princípios de funcionamento de uma máquina térmica (rendimento, ciclo de Otto e ciclo de Carnot).*

No segundo ano do Ensino Médio é previsto o assunto de termologia, incluindo estudo dos gases, termodinâmica e máquinas térmicas. Por este motivo, vamos fazer aqui apenas uma breve revisão dos principais conceitos.

Conforme Ramalho, Nicolau e Toledo (2007), as **máquinas térmicas**, como, por exemplo, a máquina a vapor, foram inventadas e funcionavam antes que seu princípio teórico fosse estabelecido. Carnot (1796-1832) percebeu que uma diferença de temperatura era tão importante para uma máquina térmica quanto a diferença de nível d'água para uma máquina hidráulica. Ele estabeleceu que:

Para que uma máquina térmica consiga converter calor em trabalho de modo contínuo, deve operar em ciclo entre duas fontes térmicas, uma quente e outra fria: retira calor da fonte quente (Q_1), converte-o parcialmente em trabalho (τ) e o restante (Q_2) rejeita para a fonte fria (RAMALHO, NICOLAU e TOLEDO, 2007 p. 194).

O que queremos com uma máquina térmica é que ela realize o máximo de trabalho, a partir do fornecimento de um mínimo de calor para o fluido de trabalho, no caso um gás. Desta forma, podemos representar a eficiência da máquina térmica pela razão entre o trabalho realizado (energia útil) e o calor fornecido (calor da fonte quente).

$$\eta = \frac{\text{Energia útil}}{\text{Energia total}} \quad \eta = \frac{\tau}{Q_1}$$

Como o trabalho $\tau = Q_1 - Q_2$, temos:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \quad \eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Onde as quantidades de calor 1 e 2 são consideradas em módulo.

O Ciclo de Carnot

Em 1824, Carnot idealizou um ciclo que proporciona o rendimento máximo a uma máquina térmica. Este ciclo consta de duas transformações adiabáticas alternadas com duas transformações isotérmicas, todas elas reversíveis, sendo o ciclo também reversível.

O rendimento do ciclo de Carnot foi demonstrado ser função exclusiva das temperaturas absolutas (temperatura kelvin) das fontes quente e fria, não dependendo, portanto, da substância utilizada. Assim, Carnot provou também que este rendimento corresponde ao rendimento máximo que pode ser obtido por uma máquina térmica operando entre duas temperaturas T_1 (fonte quente) e T_2 (fonte fria), podendo o rendimento de Carnot ser representado por:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Existem ciclos teóricos reversíveis que podem ter rendimento igual ao do ciclo de Carnot, mas nunca pode alcançar 100% ($\eta = 1$). Para isto ocorrer precisaríamos que $T_2 = 0K$.

A eficiência de Carnot é importantíssima em termodinâmica, pois ela estabelece o limite máximo de eficiência de qualquer máquina térmica, funcionando entre duas fontes de calor, uma fonte quente e outra fria.

Ciclos termodinâmicos

Uma vez conhecidos os limites da eficiência de Carnot, foram construídos ciclos termodinâmicos teóricos que aproximasse a sua eficiência daquela dada pela fórmula de Carnot. A título de informação comentaremos sobre alguns destes ciclos, desenvolvidos para cada tipo de máquina térmica.

O Ciclo Rankine

Segundo Connor (2020), o ciclo Rankine apresenta a eficiência dos sistemas de turbinas a vapor. Hoje, o ciclo Rankine é o ciclo operacional fundamental de todas as usinas termelétricas.

Em 1859, William John Macquorn Rankine, um engenheiro escocês, publicou o “*Manual do motor a vapor e outros motores principais*”. Rankine desenvolveu uma teoria completa sobre o motor a vapor e, de fato, de todos os motores térmicos (CONNOR, 2020).

Como nenhuma máquina térmica pode ter eficiência maior que a do Ciclo de Carnot, evidentemente o ciclo Rankine tem uma eficiência menor. Porém, melhorias nas turbinas tendem a aproximar a eficiência de Rankine daquela de Carnot.

Assim, se considerarmos o mundo todo, podemos dizer que a maior parte da eletricidade é gerada através do ciclo de Rankine nas usinas termelétricas a combustível e nuclear.

O Ciclo Otto

Os motores atuais mais utilizados são de combustão interna que utilizam o ciclo Otto, a gasolina, e Diesel, a óleo diesel. A eficiência do ciclo Otto é dada pela expressão

$$\eta_{Otto} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}}$$

Na fórmula acima r é a taxa de compressão ou relação de compressão que indica quantas vezes a mistura ar/combustível foi comprimida dentro dos cilindros do motor ($r = V_{maior}/V_{menor}$) e k é a razão entre os calores específicos, a pressão constante e o volume constante ($k = c_p/c_v$). Como pode ser observado, a eficiência é função da taxa de compressão e do calor específico da mistura.

A figura 1 (Abaixo) dá uma ideia do funcionamento de um cilindro básico de um motor de ciclo Otto: tem duas válvulas (admissão à esquerda e escape à direita) e um dispositivo de centelha elétrica para ignição (vela). A mistura de ar e combustível é suprida por um sistema de alimentação, carburador ou sistemas de injeção (DIAS, 2009).

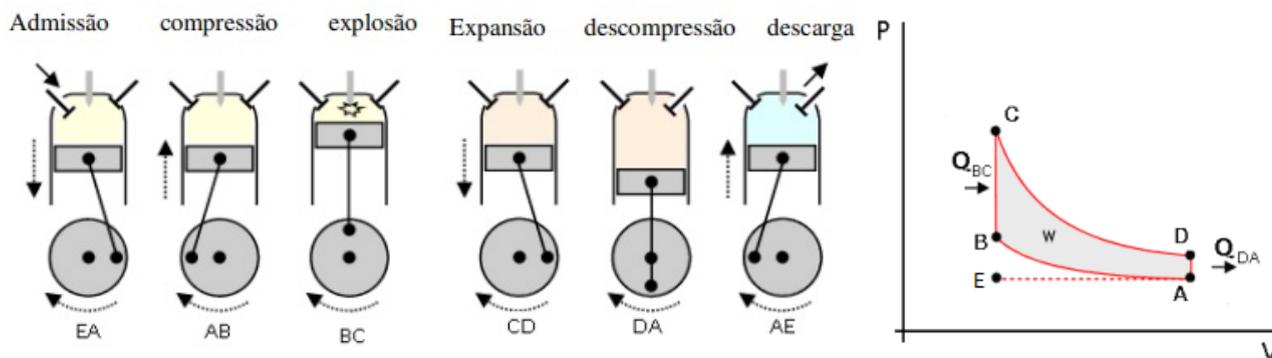


Figura 1 - Ciclo Otto. Adaptado de Dias (2009).

O ciclo diesel também depende da taxa de compressão e do calor específico. No momento, é importante ter em mente que, estes motores, apresentam uma eficiência, na prática, entre 20%, os menos eficientes e 40%, os mais eficientes. Isto se considerando a eficiência de transformação da energia que o combustível fornece e o trabalho realizado pelo motor.

Deixamos a critério do professor o aprofundamento no estudo dos ciclos termodinâmicos, conforme este ache conveniente.

Orientações para realização de atividades

Neste tópico, sugerimos atividades de construção de máquinas térmicas, desde o heolípela de Heron, até motor Stirling. Uma excelente orientação de atividades relacionadas está em [Grasselli](#) (2021), onde o professor poderá encontrar informações pedagógicas e de atividades práticas envolvendo máquinas térmicas.

Uma das atividades é a construção de um motor Stirling. Para facilitar para os alunos eles podem buscar as informações iniciais no [Vídeo 2](#). Para entendimento maior das máquinas térmicas e revisão de termodinâmica, otimizando o tempo disponível, o aluno poderá assistir ao [Vídeo 3](#).

O professor deverá ter o cuidado de propor uma atividade que contemple a compreensão das Leis da termodinâmica, que, normalmente, são trabalhadas no 2º ano do Ensino Médio.

Orientações para a avaliação

Ao mesmo tempo em que se deve considerar a avaliação como um momento significativo para a observação do desenvolvimento e eficácia do processo de ensino e aprendizagem, importa que ela seja um instrumento balizador para tomada de decisões pedagógicas e possibilite aos estudantes variadas formas de demonstrarem como aprendem e como constroem o conhecimento proposto em cada atividade educativa.

Assim, deve ser observado a habilidade

EMIFCNT06PE - *Propor e testar soluções éticas, estéticas, criativas e inovadoras para estudos da termodinâmica (máquinas térmicas e as Leis da Termodinâmica) [...] [...] para encontrar soluções socioculturais e ambientais, considerando a aplicação de design de soluções e o uso de tecnologias digitais.*

Logo, o professor deverá avaliar em especial a criatividade dos alunos no trabalho com as máquinas térmicas propostas.

3. Segunda Lei da Termodinâmica e Entropia

Neste item, o professor deve desenvolver o tópico da ementa a respeito da *Compreensão da 2ª lei da termodinâmica (processos irreversíveis, desordem e entropia)*. Ou seja, uma parte importante para qualquer análise ambiental adequada.

Nas transformações naturais, as conversões de energia se dão mantendo constante a energia total, conforme prevê o princípio da conservação da energia. A primeira Lei da Termodinâmica é uma forma deste princípio, para a termodinâmica, mas que não prevê a possibilidade de que tal transformação seja possível. Muitos fenômenos satisfazem o princípio da conservação da energia, ou a primeira lei da termodinâmica, mas são impossíveis, ou como dizemos, altamente improváveis. Um exemplo é um pêndulo oscilando e que para ao fim de algum tempo, por causa da resistência do ar e outros atritos. A energia “organizada” do pêndulo vira energia térmica. Pela primeira Lei da Termodinâmica, a quantidade de energia térmica pode ser fornecida ao pêndulo em quantidade igual a energia que o pêndulo tem em movimento, porém, a transformação recíproca das moléculas se organizarem e empurrarem o pêndulo para que ele volte a oscilar tem uma probabilidade ínfima de acontecer, ao que consideramos impossível (RAMALHO et al. 2007).

Assim, a segunda lei está relacionada a este sentido natural das transformações, ou seja, energia mais “nobres” como a elétrica, a química, entre outras se transformam em energia mais desordenada, que é a energia térmica. Materiais mais complexos, como o petróleo, após a queima se tornam moléculas mais simples como o CO₂. Esta lei tem uma aplicação mais ampla que apenas na termodinâmica, podemos pensar nela no caso de uma gota de tinta que se dissolve na água. Esta gota não voltará a se separar da água naturalmente, então dizemos que o caminho natural neste caso é a desordem ou a dissolução da gota de tinta na água.

Logo, a avaliação quantitativa da geração de entropia é algo bastante complexo, mas podemos ter em mente alguns aspectos importantes. Por exemplo, a queima de combustíveis fósseis ou biocombustíveis, são grandes geradores de entropia, pois transformam moléculas complexas em mais simples e energia química se transforma em energia térmica.

Máquinas térmicas e a 2ª Lei da Termodinâmica.

Conforme é estudado em termodinâmica do ensino médio, o rendimento máximo de uma máquina térmica, trabalhando entre uma fonte fria (a temperatura T_{fria}) e uma fonte quente (a temperatura T_{quente}) é dado pelo rendimento de um ciclo de Carnot, expresso por:

$$\eta = 1 - \frac{T_{fria}}{T_{quente}}$$

Podemos observar que o rendimento máximo nunca chegará a 100%, pois isso só ocorreria se a fonte fria estivesse a 0 K, ou zero absoluto, o que não é possível. Via de regra, a fonte fria está na temperatura ambiente.

Pela fórmula da eficiência de Carnot podemos observar que, quanto mais baixa a temperatura da fonte fria e mais alta a da fonte quente, maior será o rendimento do ciclo termodinâmico.

Exemplo: A temperatura do Sol é em torno de 6000 K e a do meio ambiente 300 K. Pela eficiência de Carnot seria possível transformar 95% da energia em trabalho. Porém, em uma central solar termoeletrica a temperatura que se consegue do fluido térmico, que será a fonte quente do ciclo termodinâmico, será de apenas 673 K, para a mesma temperatura de 300 K da fonte fria, a eficiência máxima será de apenas 55%. Mas este é o valor teórico máximo. Neste tipo de central solar termoeletrica, a eficiência máxima está em torno de 25%. O restante 75% foi perdido na geração de entropia, pois foi transformada em calor transferido para o ambiente.

Coeficiente de desempenho – Geladeira, Ar-condicionado

O coeficiente de desempenho, COP, de um refrigerador ou ar-condicionado é definido como o calor removido do ambiente frio, dividido pelo trabalho realizado para remover este calor (trabalho realizado pelo compressor). Quanto mais eficiente for a geladeira ou ar-condicionado, mais calor pode ser removido do interior da geladeira, ou sala refrigerada, por uma quantidade determinada de trabalho.

$$COP = \frac{Q_{fria}}{\tau}$$

Calculado a partir das temperaturas absolutas, o valor teórico máximo do COP é dado, em função das temperaturas das fontes quente e fria, como:

$$COP_{Max} = \frac{T_{fria}}{T_{quente} - T_{fria}}$$

Obs: Diferente da eficiência de uma máquina a vapor, o COP, pode ser maior que 1 e quanto maior seu valor, mais eficiente será a geladeira ou ar-condicionado.

Entropia e Filosofia

O tema Entropia é bastante complexo, quando começamos a analisar como um todo na natureza. O processo de decomposição acontece incessantemente na natureza e faz parte dela. Plantas, animais e todo tipo de organismos surgem e se desenvolvem no que Aristóteles chamou de Geração e, então, entram em degenerescência, que Aristóteles chamou de Corrupção em sua obra “*Da Geração e Corrupção*”.

Segundo Sproviero (2001), na visão, tipicamente moderna, mecanicista do mundo, na linha de Galileu, Descartes, Bacon, Newton, Locke e Adam Smith (Smith na economia e Locke na concepção social), a ideia de progresso é tão natural que nem pensamos em discuti-la. Diante disso, a partir da entrevista com Sproviero (2001), esse tema incide exatamente neste ponto: "*a lei da entropia mina a ideia da história como progresso. A lei da entropia destrói a ideia de que a ciência e a tecnologia criam um mundo mais ordenado*". (Conferir no link <http://www.hottopos.com/vdletras2/mario.htm>). Nesse aspecto, na visão mecanicista, a ênfase está unicamente no que se ordena e desconsiderando a desordem causada pela ordenação. É como se ignorássemos o problema do lixo ao arrumarmos nossa casa.

Então, devemos ter muito cuidado na generalização da segunda lei da Termodinâmica, ela se restringe a mecanismos, mais especificamente, as máquinas térmicas e, por extensão, a outros processos que envolvem a transformação de energia e trabalho. Nesse caso, podemos falar em

qualidade da energia e sua degradação. Quanto a sua aplicação à natureza como um todo, ao nosso ver, trata-se de uma questão filosófica, com aspectos de metafísica.

Orientações para realização de atividades

Uma primeira atividade deve estar relacionada à compreensão da 2ª Lei da Termodinâmica. Nesse caso, o aluno poderá pesquisar sobre a lei e suas aplicações em máquinas térmicas, refrigeradores, ar-condicionado e bombas de calor. Podem ser utilizados videoaulas como a apresentada no vídeo do link a seguir: Vídeo 1.

Uma segunda atividade pode estar relacionada ao estudo das soluções práticas, utilizando o conhecimento sobre a segunda lei da termodinâmica, ou seja, sugestão de ações que diminuam a geração de entropia, nas diversas atividades do dia a dia, desde o uso correto de geladeiras e ar-condicionado, até a substituição de fontes de energia.

Nesse mesmo sentido, o professor deverá ter o cuidado de propor uma atividade que contemple a compreensão da 2ª Lei da termodinâmica, que é trabalhada, normalmente, no 2º ano do Ensino Médio.

Orientações para a avaliação

Deve ser observada para a avaliação a seguinte habilidade EMIFCNT06PE:

Propor e testar soluções éticas, estéticas, criativas e inovadoras para estudos da termodinâmica (máquinas térmicas e as Leis da Termodinâmica) [...] para encontrar soluções socioculturais e ambientais, considerando a aplicação de design de soluções e o uso de tecnologias digitais.

Nesse sentido, por meio das atividades sugeridas no tópico anterior, o professor deverá avaliar a criatividade dos alunos na busca de soluções que reduzam o consumo de energia e a geração de entropia.

4. Impacto Ambiental das Máquinas Térmicas

Neste item, o professor deve desenvolver o tópico da ementa a respeito do

Estudo e aprofundamento dos impactos socioambientais e da utilização de máquinas térmicas (revolução industrial, emissão de poluentes e efeito estufa) [...]

De acordo com a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 (BRASIL, 1981), que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências, entende-se por:

III - poluição, a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

- a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- c) afetem desfavoravelmente a biota;
- d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
- e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

IV - poluidor, a pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, responsável, direta ou indiretamente, por atividade causadora de degradação ambiental.

Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/16938compilada.htm

Então, a poluição, enquadrada como crime, através da Lei n.º 6.938/81 (BRASIL, 1981), “é a introdução, de forma acidental ou intencional no meio ambiente, de substâncias ou energia, com consequências negativas para os seres vivos. A poluição se tornou intensa a partir da **Revolução Industrial** com o aumento da industrialização e urbanização. Considera-se, atualmente, um grave problema ambiental” (MAGALHÃES, c. 2011-2023), conferir no link <https://www.todamateria.com.br/poluicao/#:~:text=A%20polui%C3%A7%C3%A3o%20passou%20a%20ser,considerada%20um%20grave%20problema%20ambiental.>

O caso de Cubatão, o Vale da Morte.

O caso da cidade de Cubatão, no estado de São Paulo, é um exemplo de quão perigosa é a poluição, mas também de como o problema da poluição pode ser resolvido, se houver empenho e investimento na proteção ambiental.

No governo de Juscelino Kubitschek, na década de 50, teve início um processo acelerado de industrialização do Brasil e Cubatão, sendo naquela época, considerado um paraíso verde. Já na década de 1960, contava com 18 grandes indústrias, sendo uma refinaria, uma siderúrgica, sete fábricas de fertilizantes e nove de produtos químicos, trazendo consigo a poluição em larga escala. Governantes, assim como os empresários, não se preocupavam em reverter a situação, uma vez que as indústrias de Cubatão rendiam bilhões ao ano, levando a cidade a ser uma das cinco maiores arrecadadoras de impostos do Estado. O município respondia por 2% de toda a exportação do país. De outubro de 1981 e abril de 1982, nasceram aproximadamente 1.800 crianças na cidade, sendo que 37 já nasceram mortas, outras apresentavam graves problemas neurológicos e anencefalia. Cubatão era líder em casos de problemas respiratórios no país. A Organização das Nações Unidas (ONU) alertou o mundo sobre os problemas causados pela poluição do polo industrial, considerando a cidade como exemplo a não ser seguido. A partir de 1983 foi implementado um plano de recuperação ambiental. Diante disso, governantes, população e industriais passaram a trabalhar em conjunto pela recuperação, sendo que em 1989 as 320 fontes poluentes que existiam na época já estavam controladas. Cubatão, no final dos anos 80, buscou recursos da Agenda 21 para recuperar a qualidade de vida socioambiental perdida com a poluição causada pelo polo industrial (PENSAMENTO VERDE, 2014), conferir no link <https://www.pensamentoverde.com.br/sustentabilidade/historia-poluicao-cubatao-cidade-deixou-vale-morte/>

A **revolução Industrial** marca a introdução das máquinas térmicas e nas indústrias que evoluíram para os modelos atuais. Inicialmente, as indústrias e suas máquinas térmicas eram extremamente poluentes, porém com o tempo foram melhorando a eficiência e reduzindo a

poluição, contudo, o processo de combustão é intrinsecamente gerador de CO₂, sendo esta geração inevitável.

Neste tópico, o professor deverá avaliar a necessidade de ampliar a abordagem sobre a **revolução industrial**, conforme julgue conveniente.

As mudanças climáticas (Efeito Estufa/Aquecimento Global).

O Aquecimento Global é um dos temas mais debatidos, durante os últimos anos, tanto na comunidade científica quanto em outros espaços da sociedade mundial. Ainda existe atualmente, as contestações chamadas de “céticas” que vêm se tornando cada vez mais conhecidas. Segundo Pena (c. 2023) existem três linhas principais de argumentação com relação às chamadas Mudanças Climáticas.

- A. A **primeira linha** de argumentação se baseia em dados do IPCC, o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, órgão ligado à ONU (Organização das Nações Unidas). Esta linha de argumentação baseia-se na elevação das temperaturas em função da emissão dos chamados gases-estufa, como o CO₂ (gás carbônico), CH₄ e o CFC (clorofluorcarboneto). Segundo estes dados, cerca de 90% das alterações climáticas foram causadas pelo homem e apenas 10% são naturais. Entre os mais conhecidos defensores dessa tese, está o ex-vice-presidente dos Estados Unidos, Al Gore, que organizou um documentário chamado *Uma Verdade Inconveniente*.
- B. Na **segunda linha**, alguns cientistas, apesar de aceitarem a existência do Aquecimento Global, defendem que se trata de um processo natural, pois o Sol seria o principal fator que influencia o clima da Terra, e não os gases atmosféricos. Assim, com o aumento das atividades solares, aconteceria o aquecimento médio das temperaturas no planeta. Entre os principais defensores, aparece o professor Timothy Ball, PhD pela Universidade de Londres. Entre outras críticas, contestam a ameaça representada pelos gases-estufa. Alguns cientistas afirmam que o CO₂ é benéfico para a atmosfera terrestre, pois estimula o desenvolvimento e crescimento das vegetações. Por essa linha, se o CO₂ representasse uma ameaça, o planeta Marte seria mais quente que a Terra, pois sua atmosfera é composta em mais de 95% por esse gás. No entanto, suas temperaturas são, em média, de -50°C
- C. Em uma **terceira linha**, há um grupo que afirma que o Aquecimento Global se trata de uma teoria que jamais foi provada. Para eles seria uma estratégia, de “alarmismo”, dos países desenvolvidos para evitar o aumento do consumo e do padrão de vida do mundo subdesenvolvido, o que envolveria outras questões políticas e que não possuem validade científica. Entre seus defensores pode-se destacar Timoth Oke, climatólogo canadense,

Ricardo Augusto Felício, climatólogo e professor da USP, e Luiz Carlos Molion, meteorologista da Universidade Federal de Alagoas.

Disponível em:

<https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/aquecimento-global-existe-mesmo.htm>

Os combustíveis e o meio ambiente.

Apesar da controvérsia citada, podemos nos basear na segunda Lei da Termodinâmica para afirmar que a utilização de combustíveis é mais prejudicial ao Meio Ambiente, que as energias não combustíveis, devido à alta geração de entropia, como visto no item anterior. Assim, a migração de combustíveis fósseis, ou até mesmo biocombustíveis, para outras fontes de energia, como a solar e eólica, reduziria muito o impacto da atividade humana sobre o Meio Ambiente. Outro aspecto importante é o desmatamento, que podemos considerar uma forma de aumento de entropia no ambiente.

Rolim, Fraindenraich e Vilela (2012), apresentam uma análise da possibilidade de produção de gesso com energia solar, na Região do Araripe Pernambucano. Nesse artigo, pode-se ter uma ideia da diferença de uma energia de menor geração de entropia, no caso a solar e uma de maior geração de entropia, a queima de madeira que poderia ser utilizada para fins mais nobres e menos entrópicos.

É preciso entender que não podemos apenas decidir que vamos mudar para carros elétricos, por exemplo, e tudo estará resolvido. Mesmo os carros elétricos precisam de fontes que geram a eletricidade e matérias extraídas de minas. Além disso, tal substituição não pode ser radical, ou seja, deve ser gradual para que a sociedade se adapte, sem grandes impactos nos aspectos econômicos e sociais.

Os combustíveis e o fluxo de energia no ambiente.

Não é nossa intenção neste texto discorrer sobre ecologia, pois isto é assunto bastante trabalhado em Biologia. Aqui gostaríamos de resumir de maneira bem simples, por isto mesmo, pouco rigorosa no que tange a conceitos científicos.

Devemos ter em mente que quase toda energia térmica da Terra, vem do Sol. É esta energia que movimenta o ar, evapora a água para produzir as nuvens e tudo mais que observamos de movimentos naturais. Uma parcela bem pequena desta energia é armazenada na forma de energia química, primeiro pelas plantas, depois pelos animais que se alimentam das plantas e finalmente pelos decompositores de plantas e animais.

Quando utilizamos combustíveis fósseis, estamos devolvendo esta energia ao meio ambiente na forma de calor e, no caso dos biocombustíveis, estamos fazendo isto antes que esta energia sirva ao restante da cadeia ecológica.

Esta explicação simplificada serve para demonstrar a importância de deixarmos de utilizar combustíveis fósseis. Porém aqui fica um alerta, não devemos querer mudar as coisas a qualquer custo, pois toda economia atual tem seus alicerces nos combustíveis fósseis que está tendo sobrevida com os biocombustíveis, pois ambos são utilizados no mesmo tipo de tecnologia, ou seja em máquinas térmicas. A simples paralisação do uso de combustíveis, causaria o caos, ou seja, entropia social. Por isso, devemos ter a substituição dos combustíveis como meta, mas seguindo um caminho de substituição econômica e socialmente sustentável.

Os combustíveis Alternativos

Muito tem se falado sobre a utilização do álcool e biodiesel como alternativas para substituição dos combustíveis fósseis. Porém, devemos ter em mente que cada tonelada de soja, por exemplo, como combustível, é uma tonelada a menos de alimento disponível. Mas tem situações que justificam o uso de biomassa para produzir combustíveis. Por exemplo, os restos de colheitas que passam pelo processo de biodigestão têm um benefício duplo, pois, além de produzir biogás, um combustível produz também fertilizante orgânico. Os produtos das podas

de árvore também podem ser utilizados diretamente na queima para aquecimento, bem como na biodigestão para produção de biogás. Estes benefícios devem ser bem estudados, especialmente com relação a sua produção contínua do combustível. Uma vez iniciado, o uso destas biomassas, como restos de cultura ou podas nas cidades, existirá uma atividade socioeconômica que estará dependendo do fornecimento contínuo desta biomassa.

Orientações para realização de atividades

Neste item, devem ser buscadas atividades que contemplem a pesquisa sobre os diversos tipos de poluição, especialmente aquelas que atingem sua escola, bairro ou cidade.

Também é importante atividades de análise crítica das diversas atividades poluidoras que afetam a comunidade na qual a escola está inserida, identificando aquelas prioritárias na busca de soluções.

Uma investigação sobre a revolução industrial e a poluição, apesar de não explorada neste material, pode ser tema de atividades a serem realizadas pelos alunos.

Portanto, o professor pode também promover uma discussão crítica sobre questões como as diferentes abordagens sobre mudanças climáticas e a utilização de combustíveis, bem como suas consequências socioeconômicas.

Orientações para a avaliação

É importante que os alunos percebam a dimensão do problema ambiental de sua cidade, bairro e escola, bem como o seu impacto nas condições socioambientais. Deve ser observada para a avaliação a habilidade específica (EMIFCNT08PE), de *Mediação e Intervenção Sociocultural*, que diz:

Selecionar e mobilizar conhecimentos e recursos da termodinâmica (máquinas térmicas e as Leis da Termodinâmica) e para propor ações individuais e/ou coletivas no consumo de combustíveis fósseis em comparação às fontes alternativas de propulsão para encontrar soluções socioculturais e ambientais.

Desse modo, deve ser observado se o aluno analisa não apenas os aspectos teóricos de adequação ambiental, mas leva em conta também os aspectos socioambientais da comunidade envolvida nas mudanças inseridas como solução ambiental.

5. Motores Elétricos, Híbridos e Células Combustível

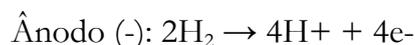
Neste item, o professor deve desenvolver o tópico da ementa a respeito do Reconhecimento *de formas alternativas de propulsão automotiva (motores elétricos, híbridos e células de hidrogênio)*. Deve-se atentar também que para esta sensibilização, o aluno deve ter conhecimento dos conceitos relativos à eficiência e entropia, ou seja, devem ser desenvolvidos os temas, especialmente, sobre termodinâmica.

Em primeiro lugar, precisamos compreender o que distingue o motor elétrico de um motor híbrido. Os motores **elétricos** e as baterias do motor elétrico são responsáveis, respectivamente, pela transformação de energia elétrica em mecânica e armazenamento de energia elétrica, permitindo que o veículo se movimente com zero emissão de gases poluentes. O carro elétrico é movido por apenas um motor elétrico, dispensando um motor secundário que funcione a base de combustão. O que pode mudar é a forma como o motor elétrico irá captar e gerar energia, mas a sua propulsão é exclusivamente elétrica. Os carros **híbridos**, combinam de forma inteligente um motor elétrico e outro a combustão, para gerar energia de movimento para o carro. Utiliza também sistemas de recuperação e reutilização de energia, como é o caso a frenagem recuperativa, aumentando ainda mais a eficiência do automóvel. O motor elétrico atua como complemento ou ainda como substituto do motor a combustão, conforme as exigências de potência e consumo, além das características próprias de cada modelo (CARRO ELÉTRICO, 2018).

Carro à célula combustível

Alguns carros utilizam-se das chamadas células a combustível de hidrogênio, onde uma célula a combustível substitui bateria e através da oxidação e redução do hidrogênio fornece corrente elétrica ao motor elétrico que movimenta o carro.

De acordo com Aroeira (2022), numa célula de combustível que utiliza o gás hidrogênio (H_2), que é bombeado para dentro da célula e, depois de atravessar o anodo, o hidrogênio alcança o eletrólito, onde se dissolve e reage, formando H^+ , liberando elétrons. Assim, os elétrons são levados até o cátodo pelo circuito externo, onde, com o auxílio de um catalisador, reduz o oxigênio (que vem do bombeamento de ar). Desta forma, as reações que ocorrem são:



A diferença de um tipo para outro de células combustíveis é o eletrólito escolhido. Também pode variar o combustível (substância que alimentará a célula com hidrogênios a serem oxidados) utilizado, que vai desde o gás hidrogênio puro, H_2 , até outras composições ricas em hidrogênio, como álcoois e hidrocarbonetos. Porém, a classificação das células de combustível é feita com base no eletrólito usado (AROEIRA, 2022).

A célula de combustível se apresenta como excelente solução alternativa aos carros de combustão. Porém, ainda é muito prematuro dizer que eles poderão suplantam os carros elétricos a baterias. Existe atualmente uma grande disputa entre estas tecnologias pelo mercado de carros não emissores de CO_2 . No caso dos carros elétricos, devemos lembrar que o carro funciona sem

utilização de combustíveis, porém a eletricidade utilizada para carregar as baterias pode ter origem em combustíveis o que diminuiria o benefício de não geração de CO₂ no carro em si. Algo semelhante ocorre com a geração de H₂ para as células de combustível.

A célula a combustível, traz muitas vantagens como a utilização direto do hidrogênio, obtendo como resíduo a emissão de vapor de água. Porém, a utilização da tecnologia de células combustíveis não é simples e é preciso ainda dimensionar as questões de abastecimento de hidrogênio. Nesse caso, é importante salientar uma vantagem dos carros a célula de combustível, em relação aos carros elétricos a bateria, que é o tempo de reabastecimento, sendo rápido por se tratar do abastecimento como qualquer outro combustível, enquanto o carro a bateria, pode necessitar de horas ligado à tomada para carregar a bateria.

Enfim, a utilização de carros que não emitem CO₂ está, atualmente, em fase de desenvolvimento na qual cada uma das tecnologias tem técnicos superespecializados trabalhando arduamente para colocar seu produto no mercado. Assim, devemos estar atentos às evoluções dos carros elétricos a bateria e célula combustível. Os motores híbridos se apresentam como uma alternativa de transição que pode ser benéfica na redução de emissões.

Orientações para realização de atividades

Neste item, devem ser trabalhadas atividades relacionadas à busca de informações das vantagens e desvantagens dos carros híbridos e elétricos tanto a bateria quanto a célula combustível.

O [Vídeo 4](#), traz uma análise que pode servir de ponto de partida para discussões sobre a substituição de carro a combustível por carro elétrico. Ainda pode se usar o [Vídeo 5](#), para um histórico sobre o carro elétrico.

Os alunos podem fazer uma pesquisa considerando a realidade da comunidade em que vive, com relação a possibilidade de substituição de carro a gasolina ou álcool por carros elétricos.

Orientações para a avaliação

Aqui o professor deverá estar atento à capacidade dos alunos na análise de informações sobre os carros elétricos e sobre a substituição dos carros a combustível por estes carros, elétricos ou híbridos.

Um ponto importante a avaliar é se os alunos conseguem fazer uma análise da substituição de carros a combustível por carros elétricos, do ponto de vista de sua comunidade ou cidade.

Assim, a análise da realidade local é importantíssima para propor uma alternativa adequada do ponto de vista sócio ambiental.

6. Eficiência de Motores a Combustão e Elétricos

Aqui chegamos ao tópico, previsto na ementa, de *Compreensão da eficiência energética de motores a combustão e elétricos*.

Diante do exposto, para contextualizar, trazemos Coelho (c. 2010-2023):

Considerando que cada litro da gasolina ao custo da época era de aproximadamente R\$2,60, um **carro a gasolina** de consumo médio de 10 km/litro, percorrendo 120 km gasta R\$31,20 em gasolina. Por outro lado, com o custo médio de R\$0,29 por kWh e percorrendo 11 km/kWh, um **carro elétrico** gastaria apenas R\$3,20 no mesmo trajeto percorrido. Em contrapartida, um **carro híbrido** pode reduzir consideravelmente os custos com gasolina, uma vez que o motor elétrico substitui o motor a gasolina em momentos em que o consumo é maior, normalmente no momento do arranque e em baixa velocidade, conferir no link. Optar por modelos de melhor quilometragem por litro através de tecnologias melhores, necessariamente não poupam dinheiro. Com a exceção de dois híbridos, o Prius e o Lincoln MKZ e modelo diesel Volkswagen Jetta TDI, o custo das tecnologias de baixo consumo é tão alto que levaria anos para um condutor

**SECRETARIA EXECUTIVA DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO
GERÊNCIA DE POLÍTICAS EDUCACIONAIS DO ENSINO MÉDIO**

médio (em alguns casos mais de dez anos) para pagar pela tecnologia, comparando-se com os novos modelos convencionais de combustão interna.

Disponível em:

<https://www.carrodegaragem.com/carros-hibridos-eletricos-sao-economicos-consumo-km-kwh/>.

Os modelos de célula a combustível são alternativa aos elétricos a baterias. Uma célula de combustível pode transformar mais do que 90% da energia contida num combustível em energia elétrica, bem acima do 20 a 30% dos carros a combustão. O que é necessário observar no momento é que estamos tratando de indústrias de ponta para produção de carros e caminhões, e que devemos ficar atentos para saber o que é informação direta e objetiva e o que é apenas propaganda. Isto é importante porque se a tecnologia for colocada de forma forçada, sem respeitar as características de nossa economia e sociedade, podemos fazer uma transição que trará prejuízos socioeconômicos enormes.

De imediato devemos levar em conta o valor do carro e não apenas o valor da alimentação, seja combustível seja elétrica. Vimos acima que o carro elétrico é bem mais econômico se considerado apenas a alimentação direta (gasolina ou eletricidade), porém, devemos ter em mente todo o restante da cadeia de produção, além do valor do carro. Em muitos casos o valor extra do carro elétrico não vale a pena, isto é, não compensa a economia do abastecimento.

Quanto à redução da produção de CO₂ dos carros elétricos, precisamos levar em conta como é gerada a energia elétrica que é usada para carregar as baterias. Por exemplo, a energia de determinada cidade pode ser gerada por termoelétrica a carvão ou a petróleo, gerando grande quantidade de CO₂, o que pode reduzir a vantagem da não geração de emissões no carro.

Orientações para realização de atividades

Neste item, os alunos, sob orientação do professor, deverão pesquisar os diversos tipos de motores alternativos, elétrico a célula combustível e híbridos. Cada grupo de alunos pode se dedicar a um tipo específico de carro, por exemplo, híbrido, e apresentar as informações na forma que o professor achar mais conveniente.

O aluno não deverá se ater ao tópico específico deste item, mas a consolidação dos anteriores, sendo a conclusão de todos os tópicos. A eficiência, neste caso, se aplica a toda a cadeia produtiva dos carros.

Uma alternativa, neste ponto, pode ser a divisão das turmas em grupos e cada grupo desenvolver um tópico específico e todos apresentarem ao final da Unidade Curricular.

Orientações para a avaliação

A principal atividade deste item é a publicação do trabalho dos alunos, seja através de relatórios, apostilas, vídeos, cartazes, feiras, exposições etc. Isto porque este deve ser o momento em os alunos trabalharão não apenas este item específico, mas também o acumulado dos itens anteriores.

Sugerimos que a apresentação do projeto deva seguir a seguinte proposta de parâmetros extraídos da *Unidade Curricular Investigação Científica*:

1. PARÂMETROS PARA AVALIAÇÃO DA CONCLUSÃO

- a) Apresenta informações claras, coerentes e objetivas;
- b) Relaciona os dados obtidos ao objetivo e hipóteses enunciadas;
- c) Indica limitações e potencialidades da pesquisa;
- d) Evidencia as conquistas alcançadas com o estudo;
- e) Os resultados encontrados foram baseados em dados e métodos científicos;
- f) Aponta conclusões para o problema apresentado.

7. Referencial bibliográfico

AROEIRA, J. R. Célula de combustível. Disponível em :

<https://www.infoescola.com/eletroquimica/celula-de-combustivel/>. Acesso: 29 set. 2022.

BRASIL. Lei Nº 6.938 de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso: 13 fev. 2022.

CARRO ELÉTRICO. Consumo de carros elétricos e híbridos, publicado em 2018. Disponível em: <https://carroeletrico.com.br/blog/consumo-de-carros-eletricos-e-hibridos/>. Acesso: 27 set. 2022.

COELHO, A. M. Carros híbridos e elétricos são econômicos? Consumo em km\kWh! Disponível em: <https://www.carrodegaragem.com/carros-hibridos-eletricos-sao-economicos-consumo-km-kwh/>. Acesso: 27 set. 2022.

CONNOR, N. O que é o Ciclo Rankine – Ciclo da Turbina a Vapor – Definição. Publicado em 26 jan. 2020. Disponível em: <https://www.thermal-engineering.org/pt-br/o-que-e-o-ciclo-rankine-ciclo-da-turbina-a-vapor-de-finicao/>. Acesso: 01 set. 2022.

DIAS, J. L. G. Ciclo de Otto: aplicação teórica e utilidade prática. UFRJ 2009. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/cicloottoartigofinal.pdf>. Acesso: 31 ago. 2022.

MAGALHÃES, L. **Poluição**. Disponível em: <http://gg.gg/ydp19>. Acesso: 24 fev. 2022.

PENA, R. F. **Aquecimento Global existe mesmo?** Disponível em:

<https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/aquecimento-global-existe-mesmo.htm>. Acesso em: 24 mar. 2022.

PENSAMENTO VERDE. A história da poluição em Cubatão e como a cidade deixou de ser o “Vale da Morte”. 2014. Disponível em:

SECRETARIA EXECUTIVA DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO
GERÊNCIA DE POLÍTICAS EDUCACIONAIS DO ENSINO MÉDIO

<https://www.pensamentoverde.com.br/sustentabilidade/historia-poluicao-cubatao-cidade-deixou-vale-morte/>. Acesso em 15 mar. 2022.

RAMALHO, NICOLAU E TOLEDO. Os fundamentos da Física. 9ª Edição. Vol. 2. Ed. Moderna. São Paulo, 2007.

ROLIM, M. M.; FRAIDENRAICH, N.; VILELA, O. C. Energia Solar na Produção de Gesso – Renovando Definições. IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferência Latino-Americana da ISES – São Paulo, 18 a 21 set. 2012. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/2243>. Acesso em: 21 mar 2023.

SPROVIERO, M. B. Entrevista a Jean Lauand, 10 jul. 2001, Disponível em: <http://gg.gg/yga1r>. Acesso em: 9 abr. 2022.

Outras Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004. Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <https://analiticaqmresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2022.

BRASIL, Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010: Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília: DF, Casa Civil, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em 17 abr. 2022.

BRASIL. Resolução CONAMA 382 de 26 de dezembro de 2006. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Disponível em: https://www.confor.com.br/upload/produtos/itens/resolucoes_conama_382-2006_20181120142747.pdf. Acesso em: 07 fev. 2022.

GRASSELLI, Erasmo Carlos. Uma abordagem das máquinas térmicas no ensino da termodinâmica sob a ótica da aprendizagem significativa. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4446/1/abordagemmaquinastermicasaprendizagem.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2021.

Vídeos

Vídeo 1 - AULA 05 MÁQUINAS TÉRMICAS - MOTOR E REFRIGERADOR - CICLO DE CARNOT. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=1Sy4CX2vkLE>. Acesso em: 6 abr. 2022.

Vídeo 2 - Construa um Motor Movido a Vela (MOTOR STIRLING). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=egNrHP6pMUo>. Acesso em: 07 fev. 2022.

Vídeo 3 - Física das máquinas térmicas - Física do cotidiano. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=bYaBParE6_o. Acesso: 05 out. 2022.

Vídeo 4 - A TRISTE REALIDADE de CARROS ELÉTRICOS no BRASIL! QUAIS AS VANTAGENS e DESVANTAGENS? Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=p1C5VqKvp7k>. Acesso: 05 out. 2022.

Vídeo 5 - Carro Elétrico Vs Carro a Gasolina | Como os carros elétricos realmente funcionam. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=lydQ4r67ScI>. Acesso em: 03 mar. 2023.