

## **Aula 00 (Prof. Juliano)**

*TJ-MG (Analista Judiciário - Engenheiro  
Mecânico) Conhecimentos Específicos -  
2022 (Pós-Edital)*

Autor:

**Felipe Canella, Juliano de Pelegrin**

04 de Julho de 2022

## Sumário

Apresentação.....	3
Termodinâmica.....	6
1 - Conceitos fundamentais da termodinâmica.....	6
2 - 1ª Lei da termodinâmica.....	10
2.1 - Mudança de estado em um sistema.....	10
2.2 - Análise de Energia para Ciclos Termodinâmicos.....	12
2.3 - Entalpia.....	15
2.4 - Calor específico.....	16
3 - Propriedades termodinâmicas.....	20
3.1 - Relação pressão, volume específico e temperatura.....	20
3.2 - Mudança de Fases.....	23
4 - 2ª Lei da termodinâmica.....	26
4.1 - Enunciados da 2ª Lei da Termodinâmica.....	27
4.2 - 2ª Lei da Termodinâmica aplicada a ciclos de potência.....	29
4.3 - 2ª Lei da termodinâmica aplicada a ciclos de refrigeração e bomba de calor.....	32
Ciclos de geração de potência.....	33
1 - Ciclo de Carnot.....	33
2 - Sistemas de Potência a Vapor.....	38
2.1 - Ciclo de Rankine.....	38
3 - Ciclos de Potência a Gás.....	44
3.1 - Ciclo de ar-padrão Brayton.....	44
3.2 - Ciclo Stirling.....	48
Questões Comentadas.....	53



Lista de questões.....	89
Gabarito.....	107
Resumo .....	108
1 - Conceitos Fundamentais .....	108
2 - 1ª Lei da termodinâmica .....	108
3 - 2ª Lei da Termodinâmica .....	110
4 - Ciclo de Carnot .....	110
5 - Ciclo de Rankine.....	111
6 - Motores a combustão interna .....	112
7 - Ciclo Brayton.....	113
8 - Ciclo Stirling .....	115



## APRESENTAÇÃO

Olá, meus amigos e minhas amigas do Estratégia Concursos, tudo bem?

É com imensa satisfação que iniciamos hoje o nosso “**Curso TJ-MG (Analista Judiciário - Engenheiro Mecânico) Conhecimentos Específicos - 2022 (Pós-Edital)**”. Antes de mais nada, gostaríamos de nos apresentar.

### Prof. Juliano



*Eu sou o **prof. Juliano de Pelegrin**, engenheiro mecânico graduado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná –UTFPR. Durante a minha graduação realizei intercâmbio nos EUA, onde estudei durante um ano, na ASU -Arizona State University. Sou mestre em engenharia elétrica, também pela UTFPR. Durante dois anos atuei no ramo da engenharia, na indústria, trabalhando com manutenção mecânica e inspeções em caldeiras e vasos de pressão. Há aproximadamente três anos comecei, paralelamente aos meus estudos e trabalho de engenharia, a me envolver com concursos públicos iniciando na produção de Vade-Mécuns e compilação de materiais para o Estratégia Concursos e Estratégia Carreira Jurídica. Atualmente resido no município de Pato Branco/PR, sou professor do Estratégia Concursos e coordenador do Estudo Estratégico no Estratégia Carreira Jurídica.*

### Prof. Felipe



*Eu sou o Prof. Me. **Felipe Canella**. Sou formado em Engenharia de Produção Mecânica pelo Centro Universitário da FEI e Mestre em Ciências. Atuei em empresas multinacionais como em montadoras na área de Purchasing e em áreas de Trade Marketing. Além disso, passei no programa de trainee de uma grande empresa em um processo de mais de 40 mil inscritos para 10 vagas, ao passo que concluía meu Mestrado em Engenharia de Produção na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Além disso, tenho experiência no exterior (estudei 1 ano engenharia na Western Michigan University, nos EUA). Hoje faço doutorado na USP e leciono no Estratégia Concursos. Continuando com meus estudos, fui aprovado no concurso do TRE-PR, para Técnico Judiciário Administrativo, meu segundo concurso (ficando em 208º – longe, mas fiquei), o que para mim foi uma vitória (rs). Continuei estudando e fiquei em 12º em Agente Legislativo na Câmara Municipal do Guarujá, mas cometi um “erro amador” na segunda fase e fui eliminado (nem só de felicidade vivemos, não é?). Todavia, posteriormente, **SEM DESISTIR**, alcancei o 6º lugar para Assistente em Administração pública para Câmara de Cubatão. Além disso, já tive aprovação na primeira fase para Polícia Federal com apenas 2,5 meses de estudos antes da prova (o que prova como minha metodologia de estudos que ensino em meus vídeos no Instagram® funciona). Não deixe de me seguir nas minhas redes sociais para dicas e questões comentadas que compartilho!*



profcanelas



t.me/profcanelas

Essa breve introdução com o nosso passado e história é para vocês entenderem que concursos é...  
**CONSTÂNCIA EM SEU OBJETIVO!**



Podemos, às vezes, cometer erros infantis (como eu já cometi e já presenciei colegas cometendo, também). Entretanto, você não pode se deixar abater, pois isso acontece com TODO MUNDO. Mantenha a calma, a paciência e saiba que tudo vai dar certo! Estude e siga nossas dicas para alcançarmos juntos esse nosso objetivo: **a sua aprovação!**

Este curso é um material com o **máximo de imagens** possível, para que as aulas sejam claras, mas **sem perder a objetividade**. Afinal, a intenção é trazer um curso vertical abordando somente o que já foi exigido, ou possa vir a ser, em concursos de engenharia.

Para isso, todo o nosso **curso** é elaborado **baseado em fontes consagradas** da engenharia mecânica, em que é feita uma abordagem teórica de cada assunto seguida por exercícios, retirados de provas de concursos passados, comentados. **Fique atento aos comentários das questões**, pois estes podem vir a complementar a teoria podendo se tornar um diferencial em sua preparação.

Sem mais delongas, deixaremos aqui nossos contatos pessoais para quaisquer dúvidas, críticas ou sugestões que possam surgir. Lembre-se, caro(a) concurseiro (a), **estamos aqui** para lhe dar o **suporte que você precisa para passar no seu concurso!** Sinta-se à vontade para nos contatar.

Para **tirar dúvidas** e ter **acesso a dicas e conteúdos gratuitos**, acesse nossas redes sociais:

Instagram - [@profjulianodp](#)

E-mail – [profjulianodp@gmail.com](mailto:profjulianodp@gmail.com)

Instagram - [@prof.canellas](#)

E-mail - [canellas100@gmail.com](mailto:canellas100@gmail.com)

Agora vamos ao que interessa! Hora do FOCO total!



# TERMODINÂMICA/CICLOS DE GERAÇÃO DE POTÊNCIA

## CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Caro estrategista, na aula de hoje vamos estudar primeiramente os **princípios e leis da termodinâmica** e na sequência estudaremos alguns **ciclos de geração de potência**.

A **termodinâmica** pode ser ao mesmo tempo um ramo da física e das ciências de engenharia em que seus princípios são estudados para **relacionar as propriedades das matérias**. Nós, engenheiros, estudamos a termodinâmica para conhecer sistemas que admitem fluxo de massa e como eles realizam interação com suas vizinhanças.

Nesta aula, iremos também abordar o princípio de funcionamento dos principais tipos de **máquinas térmicas**, que são dispositivos que **convertem calor em trabalho**, e como estas são abordadas em provas de concursos públicos.

No que diz respeito a incidência em provas, a termodinâmica é uma das disciplinas mais exigidas nos diversos concursos para engenharia mecânica, pois esta abrange diversas áreas de aplicação, portanto me arrisco a dizer que esta aula é uma das três mais importantes de nosso curso.

Devido a extensão desta disciplina, vamos abordar os assuntos desta aula de modo a proporcionar uma leitura de fácil compreensão e assimilação. Contudo, os tópicos necessários e mais importantes serão aprofundados por meio de esquemas, figuras e resumos. Tudo isto será feito para que você possa extrair o máximo de conteúdo para a hora de sua prova.

Como de costume, antes de começarmos nossa aula, reforço que ela é escrita baseada em fontes consagradas da engenharia mecânica, portanto haverá figuras e citações retiradas de bibliografias. Isto é realizado com o objetivo de tornar o material o mais didático e claro possível.

Sem mais, lembre-se de **acessar e curtir minhas redes sociais**. Lá você poderá encontrar dicas, conteúdos e informações a respeito de seu concurso! Vamos lá?!

Instagram - @profjulianodp

e-mail – profjulianodp@gmail.com



# TERMODINÂMICA

Caro estrategista, vamos iniciar o estudo da termodinâmica com a definição de diversos **conceitos fundamentais** importantes para que possamos desenvolver os demais conteúdos conforme estes são cobrados em prova. Bora lá?!

## 1 - Conceitos fundamentais da termodinâmica

A primeira coisa que devemos definir quando desejamos analisar algo é o que está sendo estudado. Nesta aula você irá se deparar muitas vezes com a palavra **sistema** que na termodinâmica é o objeto da análise. Assim, o sistema é **tudo aquilo que desejamos analisar**.

Um sistema pode ser simples como um corpo livre ou extremamente complexo como uma refinaria química inteira. Sendo que a matéria no interior de um sistema pode ser fixa ou variar em funções de reações químicas ou nucleares. Também a forma e o volume do sistema que está sendo analisado não necessitam ser constante, como por exemplo um gás dentro de um cilindro que pode ser comprimido.

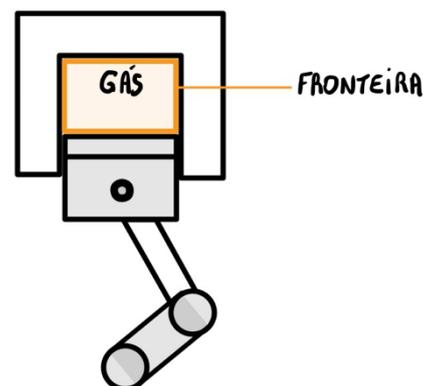
O segundo termo que você deve conhecer é **vizinhança** que é considerada como **tudo que é externo ao sistema**. O sistema é distinguido da vizinhança pela fronteira especificada, que pode estar em repouso ou em movimento.

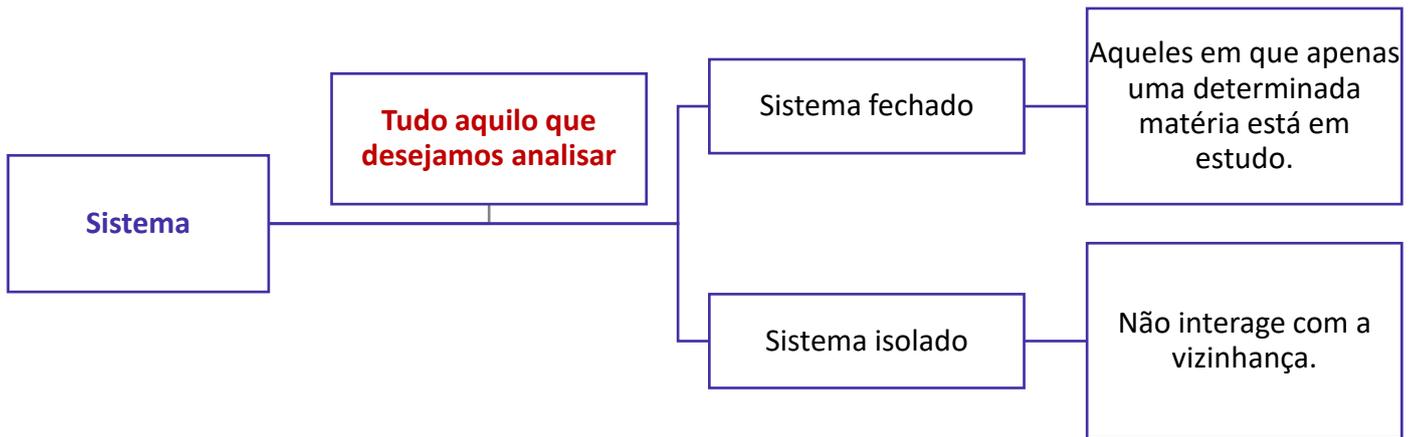
Basicamente dois tipos de sistema são abordados em provas que são, sistemas fechados e volumes de controle. Um **sistema fechado** é **aquele em que apenas uma determinada matéria está em estudo**, ou seja, este sempre conterá a mesma quantidade de matéria.

Dentre os sistemas fechados existe um tipo especial, o qual **não interage com a vizinhança**, denominado **sistema isolado**. Ou seja, neste sistema não ocorre troca de energia e nem de massa com a vizinhança.

A figura ao lado representa um conjunto cilindro-pistão. Quando as válvulas estão fechadas este pode ser considerado um sistema fechado em que a fronteira está no interior das paredes do cilindro e do pistão, conforme demonstrado. Como a fronteira se move com o pistão, o volume do sistema varia e **nenhuma** massa atravessa a fronteira. Se a combustão do gás ocorrer, a composição do sistema irá mudar.

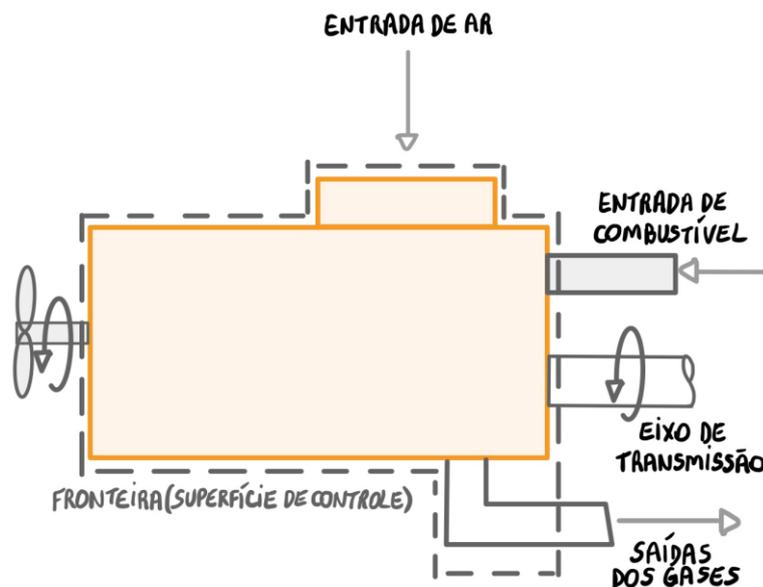
Apesar de nenhuma massa ser trocada com a vizinhança, em **sistemas fechados pode ocorrer passagem de calor e trabalho por sua fronteira**.





Em um **volume de controle** a **massa pode cruzar a fronteira**, ou seja, há fluxo de massa. Assim, neste tipo de análise estuda-se uma região delimitada por uma fronteira prescrita. Este tipo de abordagem é utilizada para avaliar dispositivos em que a massa flui como por exemplo turbinas e bombas.

Vejamos a figura abaixo onde temos o esquema de uma máquina térmica. Note que a linha tracejada no entorno da máquina demonstra o volume de controle. Também, observe que ar, combustível e gases de exaustão atravessam a fronteira.



Visto isto, vamos a definição de alguns termos importantes utilizados para a descrição de sistemas e seus comportamentos.

**Termodinâmica macroscópica ou clássica**: preocupada com o **comportamento geral ou global**. Não se é utilizada modela da estrutura da matéria a nível molecular ou atômico.

**Termodinâmica microscópica ou estatística**: se dedica ao **estudo da estrutura da matéria** buscando relacionar o comportamento estatístico caracterizado da matéria com o comportamento macroscópico do sistema. Geralmente utilizada para análises que envolvam lasers, plasmas, escoamentos de gases em alta velocidade, criogenia, entre outras.

**Propriedade:** **característica macroscópica de um sistema** como por exemplo massa, volume, pressão, temperatura e energia.

**Propriedade extensiva:** **aquela a qual possui valor**, para todo o sistema, igual a soma de seus valores para as partes nas quais o sistema é dividido. Essas propriedades podem variar com o tempo. Alguns exemplos são massa e energia.

**Propriedade intensiva:** **não são aditivas** sendo assim independentes do tamanho ou extensão do sistema. Essas propriedades podem ser funções da posição e do tempo. Alguns exemplos são: volume específico, pressão e temperatura.

**Estado:** **condição de um sistema** conforme descrevem suas propriedades.

**Processo:** uma vez que uma propriedade de um sistema se altera é dito que houve uma mudança de estado, assim o sistema percorreu um processo. Logo um processo é uma **transformação de estado**.

**Processo Adiabático:** processo em que **não há transferência de calor** com sua vizinhança.

**Regime permanente:** Um sistema está em regime permanente quando **nenhuma de suas propriedades varia com o tempo**.

**Volume específico ( $v$ ):** **Inverso da massa específica** ( $\rho$ ) dado pela equação: ( $v = \frac{1}{\rho}$ ). A unidade do volume específico é metro cúbico por quilograma ( $m^3/kg$ ).

Por fim, para encerrarmos este tópico introdutório de nossa aula, vamos conceituar a **lei zero da termodinâmica** que nos diz que **quando dois corpos possuem igualdade de temperatura (equilíbrio térmico) com um terceiro corpo, eles terão igualdade entre si**. Normalmente este terceiro corpo é um termômetro utilizado para a medição de temperatura.



**(COSEAC/UFF-2015)** Observando-se a definição de temperatura contida em uma Lei da Termodinâmica, que trata do equilíbrio térmico entre sistemas, sabe-se que, se os sistemas A e B estão:

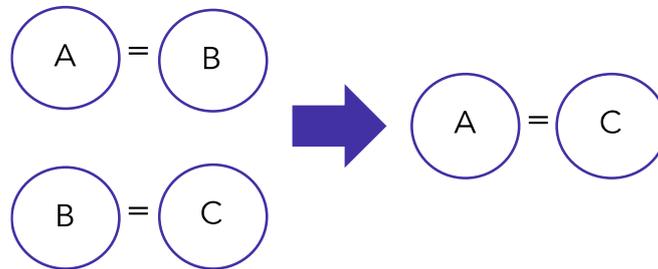
- a) relacionados e um terceiro está relacionado com A, então há uma relação matemática intransitiva.
- b) em equilíbrio e um terceiro está em equilíbrio com B, então todos estão em equilíbrio.
- c) em equilíbrio com um terceiro, há apenas uma propriedade termodinâmica diferente entre eles.
- d) em equilíbrio e um terceiro está em equilíbrio com B, então não há equilíbrio entre A e este último.
- e) a uma temperatura maior que um terceiro, há uma relação matemática transitiva entre todos.

**Comentário:**



A **alternativa B** está correta e é o gabarito da questão, pois a lei zero da termodinâmica é aquela que trata do equilíbrio térmico entre sistemas e no diz que se os sistemas A e B estão em equilíbrio e um terceiro está em equilíbrio com B, então todos estão em equilíbrio. Vejamos:

### Lei zero da termodinâmica

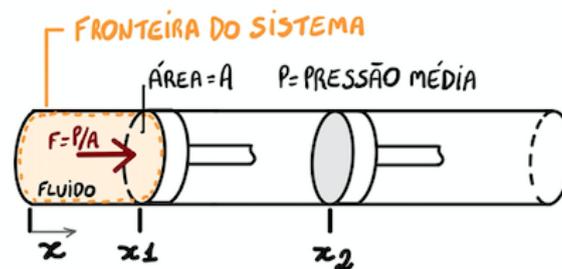


As **alternativas A, C, D e E** estão incorretas por não abordarem corretamente nenhuma lei da termodinâmica.

Antes de estudarmos as leis da termodinâmica precisamos ampliar nossos conhecimentos sobre o trabalho. O **trabalho** pode ser calculado pela **força exercida multiplicada pela distância percorrida pelo corpo**. No entanto, como a termodinâmica trata de assuntos fora do escopo da mecânica vamos estudar uma definição mais ampla de trabalho.

A **definição termodinâmica de trabalho**, segundo Shapiro (2013), é que um sistema realiza trabalho sobre suas vizinhanças se o único efeito sobre tudo aquilo externo ao sistema puder ser o levantamento de peso. Assim o **trabalho é um modo de transferir energia e ela é armazenada e transferida quando se realiza trabalho**.

Vejamos abaixo um sistema fechado que consiste em um fluido (gasoso ou líquido) contido dentro de um conjunto cilindro-pistão. Conforme a ocorre a expansão do fluido uma força normal é aplicada sobre área da face do pistão. Assim, a pressão ( $P$ ) é obtida pela força normal ( $F$ ) dividida pela área ( $A$ ).



Expansão ou compressão de um fluido

Através de manipulações algébricas podemos relacionar o trabalho com o volume do fluido em expansão ou compressão assim podemos calcular o trabalho pela seguinte equação:

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV$$

$$W = P \cdot \Delta V = P \cdot (V_2 - V_1)$$

Em que  $W$  é o trabalho,  $P$  é a pressão e  $\Delta V$  é a variação de volume ocorrida.





Quando o **fluido se expande** o **trabalho será positivo** e quando houver **compressão** o trabalho será **negativo**.

Passaremos agora para o estudo da primeira lei da termodinâmica.

## 2 - 1ª Lei da termodinâmica

A **lei de conservação de energia** ou primeira lei da termodinâmica é utilizada para relacionar as mudanças de estados identificadas em um sistema com as respectivas quantidades de energia, na forma de trabalho e calor, que são transferidas durante o processo.

Alguns **exemplos de situações** onde há mudanças de estados são:

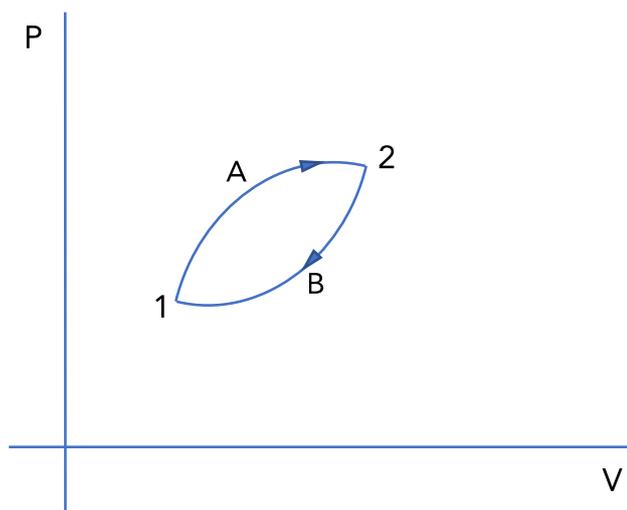
- 1) Quando o motor transfere trabalho ocorre **variação da velocidade do automóvel** – relação de energia cinética do automóvel com o trabalho realizado pelo motor;
- 2) **Calor fornecido pela chama de um fogão a uma panela com água** – relação entre a temperatura da água e o calor transferido;
- 3) Processos em motores de combustão interna em que ocorre **expansão dos gases a altas temperaturas na câmara de combustão** – realização de trabalho e transferência de calor entre dos gases para as paredes frias da câmara; e
- 4) Por fim, em alguns casos pode haver mudanças de estados sem a realização de trabalho e transferência de calor, como por exemplo na **queda livre de um corpo**, pois neste caso ocorre variação da energia cinética do corpo conforme a sua elevação se altera.

Assim podemos dizer que as **únicas maneiras para variar a energia** em um sistema fechado são por meio da **transferência de energia por meio de trabalho e calor** e o aspecto fundamental da 1ª lei da termodinâmica é que a energia se conserva.

### 2.1 - Mudança de estado em um sistema

Caro estrategista, podemos representar um sistema que passa por uma mudança de estado indo do estado 1 para o estado 2 pelo processo A e voltando do estado 2 para o estado 1 pelo processo B, em um diagrama pressão-volume (P-V). Vejamos:





A partir da representação da energia do sistema pela letra E podemos representar o balanço de energia de um sistema por:

$$E_2 - E_1 = Q - W$$

Onde  $E_2$  e  $E_1$  são os valores final e inicial da energia E do sistema;  $Q$  é o calor transferido para o sistema durante o processo do estado 1 ao estado 2 e  $W$  é o trabalho realizado pelo sistema durante o processo.

A unidade, no Sistema Internacional de Unidades (SI), de trabalho, de calor e de qualquer outra forma de energia, é o Joule (J).

Uma forma alternativa para representar o balanço de energia de um sistema é dada pela seguinte equação:

$$\Delta EC + \Delta EP + \Delta U = Q - W$$

Uma vez que o significado físico da propriedade E é demonstrar toda a energia de um sistema em um determinado estado, essa energia pode estar em diferentes formas. Assim a equação demonstra que **a transferência de energia por meio da fronteira de um sistema resulta em uma variação de uma ou mais formas de energia que são: **energía cinética (EC), Energia potencial gravitacional (EP) e energia interna (U)**.**

Cabe destacar, que o calor ( $Q$ ) é positivo porque a transferência de calor ocorre da vizinhança para o sistema e o trabalho ( $W$ ) é negativo porque a transferência de energia através do trabalho ocorre do sistema para a vizinhança. Isso é definido via convenção de sinais.

Por fim, substituindo os conceitos de energia cinética e potencial, podemos escrever a **equação de balanço de energia** da seguinte maneira:

$$U_2 - U_1 + \frac{m(v_2^2 - v_1^2)}{2} + mg(y_2 - y_1) = Q - W$$



Nota-se que é mais conveniente utilizar a propriedade de energia  $E$  dividida em energia cinética, potencial e interna, conforme exposto na equação acima.

**Professor, o que é energia interna?** A energia interna é uma propriedade extensiva do sistema. A energia interna específica é simbolizada por  $u$  e  $\bar{u}$  caso expressa por unidade de massa ou em base molar respectivamente. Normalmente este é um valor fornecido ou tabelado de acordo com as propriedades termodinâmicas do fluido em questão.

Também podemos perceber que está equação demonstra a conservação de energia, pois a variação líquida de energia do sistema é sempre igual a transferência líquida de energia que ocorre por meio de fronteira do sistema, na forma de trabalho e calor.

## 2.2 - Análise de Energia para Ciclos Termodinâmicos

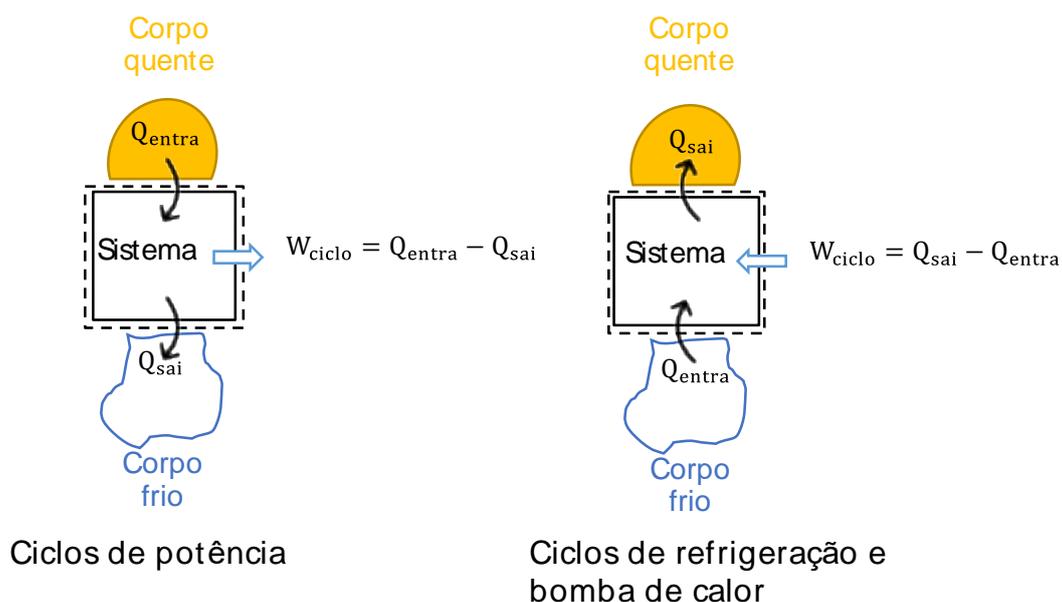
Prezado aluno (a), um **ciclo térmico** consiste em uma **sequência de processos que começa e termina no mesmo estado**, ou seja, ao término do ciclo todas as propriedades envolvidas possuem os mesmos valores que tinham no início. Um exemplo de ciclo é o de um vapor que circula dentro de uma termoelétrica.

Como em um ciclo termodinâmico o sistema retorna ao seu estado inicial não existe uma variação líquida da sua energia, portanto o balanço de energia para um ciclo pode ser calculado por:

$$\Delta E_{ciclo} = Q_{ciclo} - W_{ciclo} \Rightarrow W_{ciclo} = Q_{ciclo}$$

Onde  $W_{ciclo}$  e  $Q_{ciclo}$  representam as quantidades líquidas de transferência de energia por trabalho e calor, respectivamente, no ciclo. A equação acima é a expressão que deve ser validada por todo ciclo termodinâmico, independentemente da ordem ou sequência dos processos e das propriedades das substâncias envolvidas.

Vejamos a imagem abaixo que representa esquemas de dois tipos de **ciclos: de potência e ciclos de refrigeração e bomba de calor**.



### 2.2.1 - Ciclos de potência

Os **ciclos de potência** proporcionam uma **transferência líquida na forma de trabalho para a vizinhança** durante cada ciclo em que  $Q_{entra}$  representa a o calor que o corpo quente transfere para o sistema e  $Q_{sai}$  representa o calor que o sistema transfere para o corpo frio.

Ainda, temos que  $Q_{entra} > Q_{sai}$  e normalmente a energia fornecida pela transferência de calor para um sistema que percorre um ciclo de potência é proveniente da queima de algum combustível e a energia que sai do sistema é descarregada para atmosfera circundante ou um corpo próximo.

A **eficiência térmica** de um sistema que realiza um ciclo de potência pode ser representada pela quantidade de calor  $Q_{entra}$  (energia adicionada) que é convertida em trabalho líquido na saída  $W_{ciclo}$ . Assim, o desempenho (eficiência térmica) ( $\eta$ ) do sistema que realiza um ciclo de potência é expresso por:

$$\eta = \frac{W_{ciclo}}{Q_{entra}}$$

Através da manipulação algébrica uma maneira alternativa de se obter a eficiência térmica de um ciclo de potência é dada por:

$$\eta = \frac{Q_{entra} - Q_{sai}}{Q_{entra}} = 1 - \frac{Q_{sai}}{Q_{entra}}$$

A partir do **princípio da conservação de energia** o **desempenho de um sistema que realiza um ciclo de potência nunca poderá ser maior que 100%**. No entanto, nem toda energia adicionada a um sistema através de transferência de calor é convertida em trabalho, sendo uma parte perdida no processo. Assim, o desempenho de TODO ciclo de potência será menor que 1 (100%).



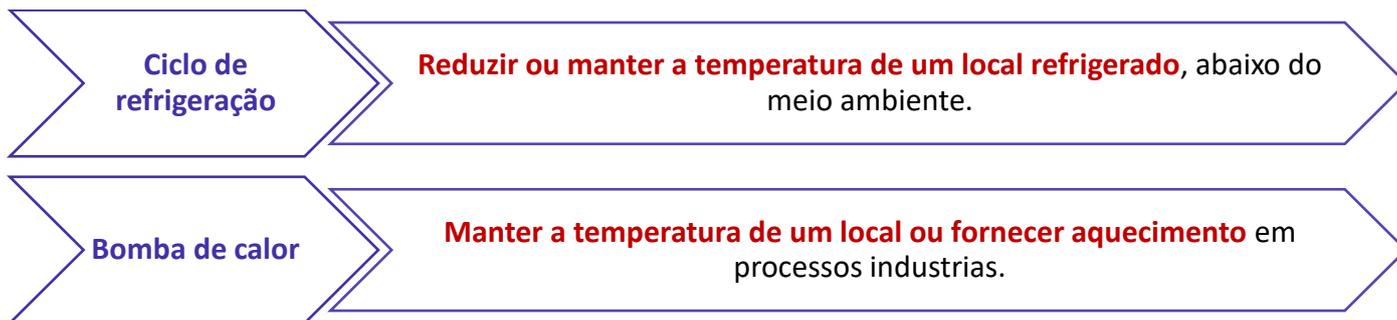
A primeira lei da termodinâmica nos diz que o calor pode ser transformado tanto em energia interna quanto em trabalho não havendo uma limitação à quantidade de calor que poderá vir a ser transformado em trabalho.

Adiante iremos estudar a **segunda lei da termodinâmica** que nos diz que **é impossível a concepção de uma máquina térmica perfeita**, logo a 1ª lei da termodinâmica é restringida pela 2ª lei, quanto à quantidade de calor que poder ser convertida em trabalho.

### 2.2.2 - Ciclo de refrigeração e bomba de calor

Caro aluno (a), apesar de apresentarem o mesmo balanço de energia, os ciclos de refrigeração e bomba de calor possuem objetivos diferentes. Vejamos:





Em ciclos de refrigeração e bomba de calor a energia do corpo frio ( $Q_{entra1}$ ) é transferida para o sistema que realiza o ciclo, que por sua vez, descarrega essa energia ( $Q_{sai}$ ), por transferência de calor, para o corpo quente. Portanto, o **balanço de energia** para esses tipos de ciclos é dado por:

$$W_{ciclo} = Q_{sai} - Q_{entra}$$

Neste caso a energia  $Q_{sai}$  é maior do que  $Q_{entra}$ .

Para os **ciclos de refrigeração**, o desempenho/eficiência térmica do ciclo ( $\beta$ ) pode ser expresso por:

$$\beta = \frac{Q_{entra}}{W_{ciclo}} = \frac{Q_{entra}}{Q_{sai} - Q_{entra}}$$

No caso de um refrigerador de nossas casas a energia ( $Q_{sai}$ ) é descarregada para o local onde o equipamento está localizado e o trabalho ( $W_{ciclo}$ ) é geralmente fornecido na forma de energia elétrica para alimentação do motor de acionamento do refrigerador.

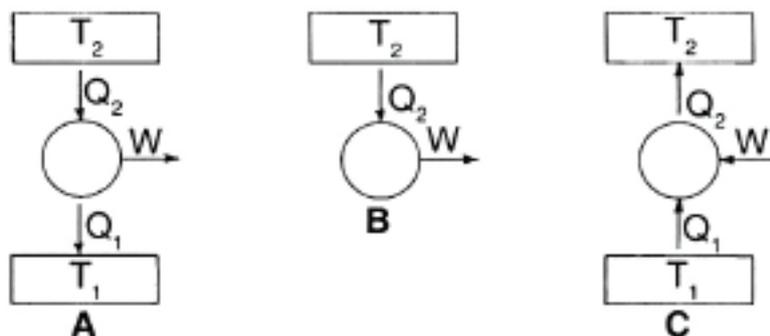
No que diz respeito a ciclos de **bomba de calor**, o **desempenho/eficiência térmica** é dada por:

$$\gamma = \frac{Q_{sai}}{W_{ciclo}} = \frac{Q_{sai}}{Q_{sai} - Q_{entra}}$$

Isso nos diz que o desempenho de um ciclo de bomba de calor é a razão da quantidade de energia descarregada e o trabalho líquido e ele nunca será inferior a um.



(IBFC/PCPR-2017) Nas três figuras que representam máquinas térmicas, temos T1 como a temperatura da fonte fria, T2 a temperatura da fonte quente, Q1 e Q2 os módulos das quantidades de calor transferidas entre as fontes e a máquina, e W o módulo do trabalho.



Sobre esse tema, analise as afirmativas:

- I. Atualmente, com o avanço tecnológico, é possível desenvolver máquinas em que  $W = Q_2$ .
- II. O trabalho da máquina térmica é representado pela equação  $W = Q_2 - Q_1$ .
- III. O esquema C representa um refrigerador possível e o trabalho absorvido por ele é  $W = Q_2 + Q_1$ .

Das afirmações apresentadas estão corretas:

- a) I e II, apenas
- b) II e III, apenas
- c) I e III, apenas
- d) I, II e III
- e) II, apenas

**Comentário:**

Vamos analisar cada um dos itens:

O item I está **incorreto**, pois apesar do avanço tecnológico ainda não foi possível a concepção de uma máquina térmica 100% eficiente. Nem toda energia adicionada em forma de calor é convertida em trabalho, pois ocorrem perdas durante o processo.

O item II está **correto**. Realmente o trabalho destas máquinas térmicas é representado por  $Q_2$  menos  $Q_1$ .

O item III está **incorreto**, pois apesar de ser um ciclo que representa um ciclo de refrigeração o trabalho absorvido por ele será dado por  $W = Q_2 - Q_1$  ( $W = Q_{SAI} - Q_{ENTRA}$ ).

Logo, a **alternativa E** está CORRETA e é o gabarito da questão.

Vamos agora ao estudo da propriedade termodinâmica intensiva chamada de entalpia.

## 2.3 - Entalpia

Prezado estrategista, quando analisamos determinados processos específicos na termodinâmica nos deparamos com combinações de algumas propriedades termodinâmicas que nada mais são do que também propriedades das substâncias que sofrem mudança de estado.



Em **processos a pressão constante**, onde não há variações de energia cinética e potencial e que o único trabalho realizado durante o processo é aquele em relação ao movimento da fronteira é possível notar que **a transferência de calor é igual a variação U+PV** entre os estados inicial e final.

Como todos os elementos da expressão U+PV são propriedades termodinâmicas foi definida uma nova propriedade termodinâmica entalpia (H) sendo:

$$H = U + PV$$

A entalpia também pode ser representada por unidade de massa por:

$$h = u + Pv$$

Sendo a entalpia específica (h) e a entalpia total (H).

Notamos assim, que a **entalpia (H)**, utilizada em diversas análises termodinâmicas pode ser obtida pela **soma da energia interna com o produto da pressão e do volume que se faz presente**.



Em questões de provas pode não ser fornecido valores de energia interna específica, mas somente de entalpia, pressão e volume específico. Neste caso é necessário a aplicação expressão acima para se determinar a energia interna de uma substância.

## 2.4 - Calor específico

Para um volume e pressão constante podemos definir **o calor específico como a quantidade de calor necessária para aumentar a temperatura de uma unidade de massa da substância desejada em um grau**.

Quando tratamos de sólidos e líquidos, praticamente incompressíveis, o calor específico (C) a volume e pressão constante pode ser relacionado com a entalpia e energia interna pela seguinte expressão:

$$\Delta h \approx \Delta u \approx C\Delta T$$

Em que C é o calor específico a volume e pressão constante.

### 2.4.1 - Calor específico para gases ideais

Prezado estrategista, **gás ideal** é um **modelo idealizado para os gases reais**, onde sua densidade é extremamente baixa. Esses gases possuem dependência de três grandezas físicas que são: temperatura, volume e pressão.

Para um gás ser ideal ele deve apresentar algumas **características básicas** que são:



Ser composto por partículas minúsculas, comparada ao seu volume, sendo estas consideradas pontos no espaço com volume zero.

As moléculas de um gás ideal se movem desordenadamente, havendo em cada instante um enorme número de moléculas se movendo em todas as direções.

A velocidade das moléculas de um gás, durante seu movimento, é dependente da natureza específica deste e da sua temperatura.

As partículas de um gás ideal não devem exercer interações mútuas (atração ou repulsão).

Um gás ideal deve possuir pressão baixa, e alta temperatura fazendo com que as moléculas estejam mais afastadas umas das outras e a com que as partículas possuam vibração com maior energia.

As colisões entre as moléculas são perfeitamente elásticas, havendo total conservação de energia cinética.

A energia cinética de um gás é igual ao somatório das energias cinéticas de suas moléculas

A equação que define o estado de um gás ideal é dada por:

$$P \cdot v = R \cdot T$$

Onde P é a pressão, v o volume específico, R é uma constante universal para gases perfeitos e T é a temperatura, medida sempre em Kelvin (K).

Outra maneira de representar a equação acima é através da seguinte expressão, em que  $v=V/m$ :

$$P \cdot V = nRT$$

Onde n é o número de mols do gás e V o volume. O número de mols de um gás (n) é igual a razão entre a massa deste (m) e sua massa molar (M).



Além da expressão acima, a equação de estado de um gás ideal, considerando massa fixa do gás e baixas massas específicas, poder ser escrita de uma forma conveniente como:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$



A equação acima relaciona dois estágios de um processo que o gás pode sofrer. Quando o processo for a **temperatura constante ou isotérmico** (Lei de Boyle) temos que:

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

Quando o processo for a **pressão constante ou isobárico** (Lei de Gay-Lussac) a seguinte expressão é utilizada:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

E por fim, quando a transformação ocorrer a **volume constante ou for isocórica** (Lei de Charles) temos que:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

Para qualquer gás ideal, ou seja, que sua equação de estado seja dada por  $PV=RT$ , a energia interna específica e a entalpia serão dadas em função da temperatura. Assim temos que o modelo de gás ideal pode ser resumido pelas seguintes expressões matemáticas:

$$PV = RT$$

$$u = u(T)$$

$$h = h(T) = u(T) + RT$$

Como a **energia interna** não é uma função de seu volume podemos expressar uma equação que relaciona o calor específico a volume constante ( $C_v$ ) e pressão zero com a energia interna e a temperatura por:

$$dU = C_v dT$$

Já a **entalpia** é dada em função apenas da temperatura independentemente da pressão assim, relacionando a entalpia com o calor específico, temos que:

$$dH = C_p dT$$

Em que  $C_p$  é o **calor específico a pressão constante** e nula;  $dh$  a taxa de variação de entalpia e  $dT$  é a taxa de variação de temperatura.

Ao se integrar as equações acima obtemos:

$$\Delta U = \int_{T_1}^{T_2} C_v dT \quad e \quad \Delta H = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$





Estas equações também nos dizem que para um gás ideal:



Uma outra **relação importante entre os gases ideais** se dá entre os calores específicos e a constante do gás, vejamos:

$$C_p = C_v + R$$

Os calores específicos são dados em função da temperatura e o conhecimento de qualquer calor específico de um gás nos permite o cálculo do outro utilizando apenas a constante do gás R.



**(CESGRANRIO/PETROBRAS-2018)** A equação de estado de um gás ideal, considerando-se massa fixa do gás e baixas massas específicas, pode ser escrita em uma forma conveniente como:

- a)  $\frac{1}{T_1} = \frac{1}{T_2}$
- b)  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$
- c)  $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$
- d)  $\frac{P_1}{V_1} = \frac{P_2}{V_2}$
- e)  $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$

**Comentário:**

A **alternativa E** está CORRETA e é o gabarito da questão. Se as três propriedades (pressão, volume, temperatura) de um gás ideal variarem durante um processo o gás irá se comportar conforme a seguinte equação:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$



Vamos dar sequência em nossa aula abordando as propriedades termodinâmicas.

## 3 - Propriedades termodinâmicas

Caro estrategista, as **substâncias puras** podem existir em diferentes fases, com determinado número de propriedades independentes. É muito importante conhecermos as propriedades e o comportamento das substâncias para não sermos surpreendidos em questões de prova.

Uma **substância pura** é **aquela que tem composição química homogênea e invariável**, podendo existir em mais de uma fase, contudo, a sua composição química é igual em todas as fases. Desta forma, água líquida, água líquida mais vapor de água ou gelo mais água líquida são todas substâncias puras uma vez que todas as fases apresentam a mesma composição química.

Note que um sistema composto por água líquida e vapor d' água possui duas fases.

**Mas professor, o que significa o termo fase? Fase é uma determinada quantidade de matéria que é homogênea como um todo**, ou seja, em sua composição química e em sua estrutura física. A homogeneidade em sua estrutura física nos diz que a matéria será toda sólida, toda líquida ou toda gasosa (vapor).



Em se tratando de um **sistema compressível simples**, a especificação das grandezas de **duas quaisquer propriedades termodinâmicas intensivas independentes**, como por exemplo, temperatura, pressão, volume específico, energia interna e entalpia, irá fixar os valores de todas as demais propriedades termodinâmicas intensivas. Ou seja, conhecendo duas propriedades intensivas é o suficiente para determinar as demais. Essa definição é chamada de princípio dos estados equivalente.

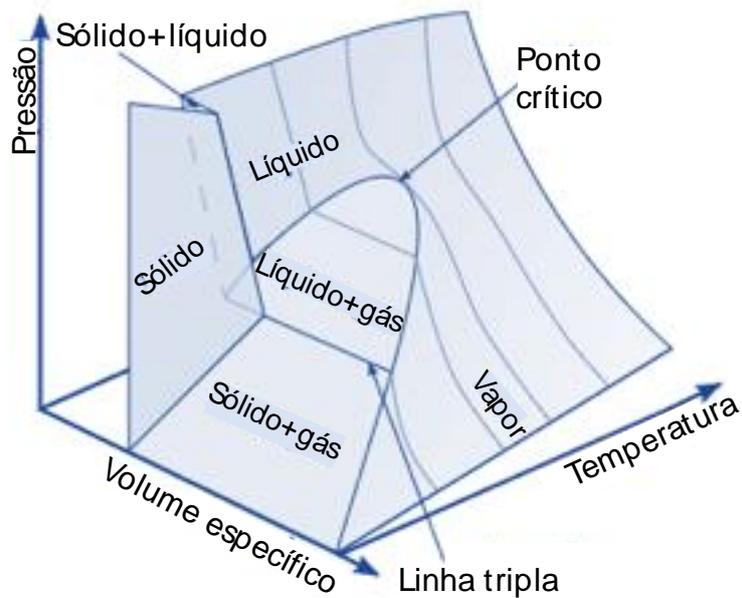
Você deve estar se perguntando o que é um **sistema compressível simples**. Vamos lá, esses **sistemas são compostos por substâncias puras comumente encontradas**, como água e misturas de gases não reativos. Os sistemas compressíveis simples existem em uma grande gama de aplicações na engenharia.

### 3.1 - Relação pressão, volume específico e temperatura

Caro aluno (a), uma substância pura é aquela composta por elementos químicos uniformes e invariáveis. Vamos estudar agora as propriedades das substâncias puras simples compressíveis e a relação de suas propriedades com pressão, volume específico e temperatura.

Através de experimentos é comprovado que a temperatura e o volume específico são considerados independentes e a pressão pode ser determinada como função desses dois. O gráfico dessa função  $p=p(T,v)$  é uma superfície p-v-T. Vejamos:





A figura acima representa a **superfície p-v-T** de uma substância como a água, que sofre expansão em sua solidificação. Qualquer coordenada nessa superfície p-v-T representa os valores de pressão, volume específico e temperatura quando a substância está em equilíbrio.

Nesta superfície existem **três regiões** denominadas **sólida, líquida e vapor** chamadas de monofásicas e dentro dessas regiões o estado da substância é determinada por qualquer duas propriedades p-v-T.

Entre as regiões monofásicas situam-se as **regiões bifásicas**, ou seja, **duas fases coexistem em equilíbrio** podendo ser: líquido-vapor, sólido-líquido e sólido vapor. Duas fases podem coexistir quando processos de mudança de fase ocorrem como a vaporização, fusão e sublimação.

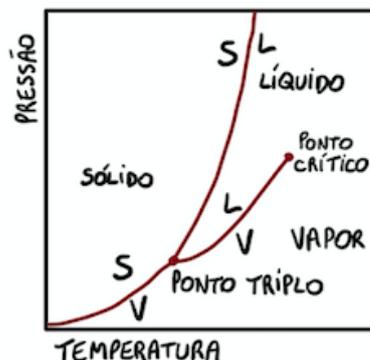
É importante destacar que na região bifásica qualquer alteração de **pressão ou temperatura** irá impactar a outra, sendo assim elas **não são independentes nessa região**. Logo, o estado não pode ser determinado somente por temperatura e pressão, mas pode ser por volume específico e uma das outras duas. Por fim, na superfície p-v-T temos também a linha tripla. Ao longo desta linha três fases podem coexistir.

O estado onde uma **mudança de fase inicia ou termina** é chamado **estado de saturação** e a região com formato de um sino é chamada de domo de vapor com suas fronteiras compostas pelas linhas de líquido saturado e vapor saturado. No topo do domo, na intersecção entre as linhas de vapor e líquido saturados está situado o ponto crítico.

A partir do ponto crítico podemos definir a temperatura crítica, a pressão crítica e o volume específico crítico. A **temperatura crítica ( $T_c$ ) indica a temperatura máxima na qual as fases líquida e de vapor podem coexistir**.

Apesar de ser muito útil para avaliar as relações gerais entre as três fases de uma substância, normalmente projeções em 2D da superfície p-v-T são mais convenientes para estudo. Dentre umas destas projeções bidimensionais encontra-se o famoso diagrama de fases que é a projeção do plano pressão-temperatura. Vejamos dois exemplos:





O diagrama de fases a esquerda é característico de **substâncias que se expandem durante a solidificação**, como a **água**. Já o diagrama de fases do lado esquerdo é típico de **substâncias que se contraem no processo de solidificação**, sendo que a **maior parte das substâncias apresentam esse tipo de comportamento**.

No diagrama de fases as regiões bifásicas são representadas por linhas e qualquer ponto sobre estas representa misturas bifásicas na correspondente pressão e temperatura.



A linha que indica a região bifásica sólido-líquido no diagrama de fases irá se inclinar para a esquerda quando se tratar de substância que se expandem durante a solidificação e para a direita para substâncias que se contraem durante esse processo.

Vejamos agora alguns termos importantes no diagrama de fase:

#### Temperatura de saturação:

- indica a temperatura na qual uma mudança de fase ocorre para uma dada pressão.

#### Pressão de saturação:

- indica a pressão na qual uma mudança de fase ocorre para uma dada temperatura.

#### Ponto triplo:

- indica a linha tripla da superfície p-v-T em único ponto.

Ainda, caro estrategista, podemos utilizar as representações da superfície p-v-T sobre o plano pressão-volume (diagrama p-v) e sobre o plano T-v (diagrama T-v) projetando as regiões de líquido, bifásica líquido-vapor e vapor. Vejamos os exemplos:



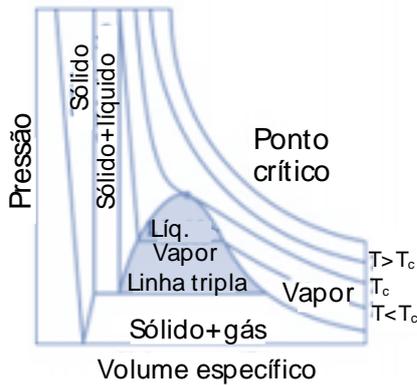


Diagrama p-v para substância que se contrai durante a solidificação

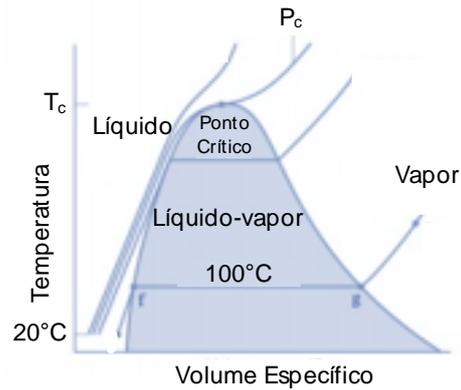


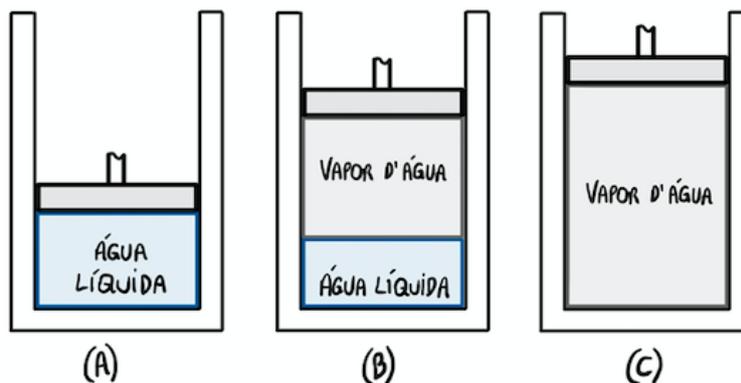
Diagrama T-v para água

Vamos agora ao estudo das mudanças de fases.

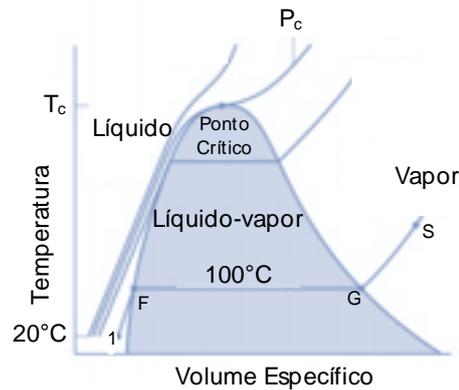
### 3.2 - Mudança de Fases

Prezado aluno (a), vamos estudar os eventos que ocorrem durante a mudança de fase de uma substância através de um exemplo. Vamos considerar um sistema fechado com massa de 1kg de água líquida a uma temperatura inicial de  $20^\circ\text{C}$  alocada dentro de um conjunto cilindro-pistão. Vamos supor que a água é aquecida lentamente enquanto sua pressão é mantida constante e uniforme dentro do sistema.

À medida que o calor é transferido para a água, ocorre um considerável aumento da temperatura, uma ligeira variação do volume específico e a pressão se mantém constante. Uma vez que a temperatura atinge  $99,6^\circ\text{C}$  uma **adição de calor implica na mudança de fase** em que uma parte do líquido começa a se transformar em vapor. Durante esse processo a pressão e temperatura permanecem constante e o volume específico sofre uma considerável variação.



No instante em que a última gota de líquido tiver vaporizado, uma adição de calor resulta no aumento da temperatura e do volume específico do vapor.



O ponto 1 no diagrama T-v indica o estado inicial da água líquida (a). Conforme o líquido é aquecido a sua temperatura aumenta até atingir o estado de líquido saturado a pressão específica representado por f. A linha 1-f representa os estados de líquidos e em alguns casos recebe o nome de estados de líquido sub-resfriado e também são denominados de estados de líquido comprimidos.

A linha f-g representa os estados em que temos a mistura bifásica líquido-vapor. A temperatura se mantém constante e ocorre uma grande variação do volume específico da água. Ao passo que o sistema é aquecido até o ponto g ele atinge o estado de vapor saturado. As misturas bifásicas entre os pontos f-g podem ser distinguidas pelo título (x) que é uma propriedade intensiva.

O **título** da mistura líquido-vapor é dado pela razão entre a massa de vapor presente e a massa total da mistura. Vejamos:

$$x = \frac{m_{vapor}}{m_{vapor} + m_{líquido}} = \frac{m_{vapor}}{m_{total}}$$

O título varia entre 0 e 1. Para estados de líquido saturado, será igual a zero e para estados de vapor saturado será igual a 1.

O **volume específico de vapor e de líquido** podem ser obtidos pelas seguintes expressões:

$$V_{vap} = v_{vap} \cdot m_{vap} \quad ; \quad V_{liq} = v_{liq} \cdot m_{liq}$$

O **volume total** da mistura é a **soma entre  $V_{vap}$  e  $V_{liq}$**  e utilizando a definição de título e realizando algumas manipulações algébricas chegamos a seguinte expressão para o volume específico de uma mistura:

$$v = (1 - x)v_{liq} + x \cdot v_{vap} = v_{liq} + x(v_{vap} - v_{liq})$$

Por fim, ao atingir o ponto de vapor saturado (g) e continuar o aquecimento o sistema irá atingir o estado de **vapor superaquecido** (ponto s) em que o sistema alcança uma temperatura superior à temperatura de saturação correspondente a pressão dada.

Normalmente as propriedades de diversas substâncias termodinâmicas são fornecidas via gráficos e tabelas é importante a correta leitura destas para que em caso de incidência em prova você saiba localizar os dados necessários.





Frequentemente as propriedades termodinâmicas de uma substância são fornecidas através de um diagrama temperatura-entropia e num **diagrama entalpia-entropia**, também **denominado diagrama de Mollier**.

Além disso pode ser exigida a **interpolação linear**, pois em alguns casos os estados envolvidos na resolução da questão não estão disponíveis no conjunto de valores da tabela de propriedades. Vejamos um exemplo em que a tabela nos fornece o volume específico de uma determinada substância a 200°C e a 250°C, a uma pressão de 20 bar.

P= 20 bar	
T(°C)	v (m <sup>3</sup> /kg)
200	0,2060
250	0,2275

Contudo precisamos saber o volume específico a temperatura de 215°C, para isso realizamos a interpolação linear. Vejamos:

P= 20 bar	
T(°C)	v (m <sup>3</sup> /kg)
200 = x	0,2060 = i
215 = y	v = j
250 = z	0,2275 = k

$$\frac{k - i}{z - x} = \frac{j - i}{y - x} \Rightarrow \frac{0,2275 - 0,2060}{250 - 200} = \frac{v - 0,2060}{215 - 200} \Rightarrow v = 0,21245$$

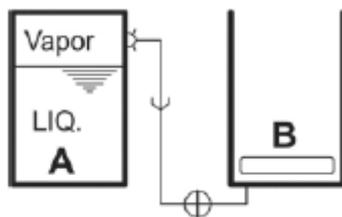
Assim, podemos encontrar o volume específico para a temperatura de 215°C mesmo está não estando contida na tabela fornecida.



**(FCC/SABESP-2018) Considere o arranjo mostrado na figura abaixo.**

No recipiente rígido A com volume igual a 0,0120 m<sup>3</sup>, tem-se inicialmente água a 300 °C (V<sub>líq</sub> = 0,0020 m<sup>3</sup>/kg; V<sub>vapor</sub> = 0,0200m<sup>3</sup>/kg) e título igual a 0,5. A válvula é aberta e vapor d'água escoar vagarosamente para o recipiente B que está inicialmente vazio. Nesta situação, a pressão necessária para movimentar o êmbolo é igual a 200 kPa.





A massa inicial em A é

- a) 1,0 kg.
- b) 0,8 kg.
- c) 0,6 kg.
- d) 1,2 kg.
- e) 0,5 kg.

**Comentário:**

Caro aluno (a), nesta questão o examinador acaba fornecendo dados a mais para tentar lhe confundir e testar seus conhecimentos. Tanto a temperatura quanto a pressão não serão utilizadas, pois é solicitado a massa inicial somente.

Portanto, conhecendo a equação para se calcular o volume específico de uma mistura resolvemos a questão simplificadamente. Vejamos:

$$v = v_{liq} + x(v_{vap} - v_{liq}) \Rightarrow v = 0,002 + 0,5(0,02 - 0,002) = 0,011 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Encontrado o volume específico da mistura podemos calcular a massa inicial por:

$$V = v \cdot m \Rightarrow m = \frac{V}{v} = \frac{0,012}{0,011} = 1,09 \approx 1 \text{ kg}$$

Logo, a **alternativa A** está CORRETA e é o gabarito da questão.

Passaremos agora ao estudo da segunda lei da termodinâmica.

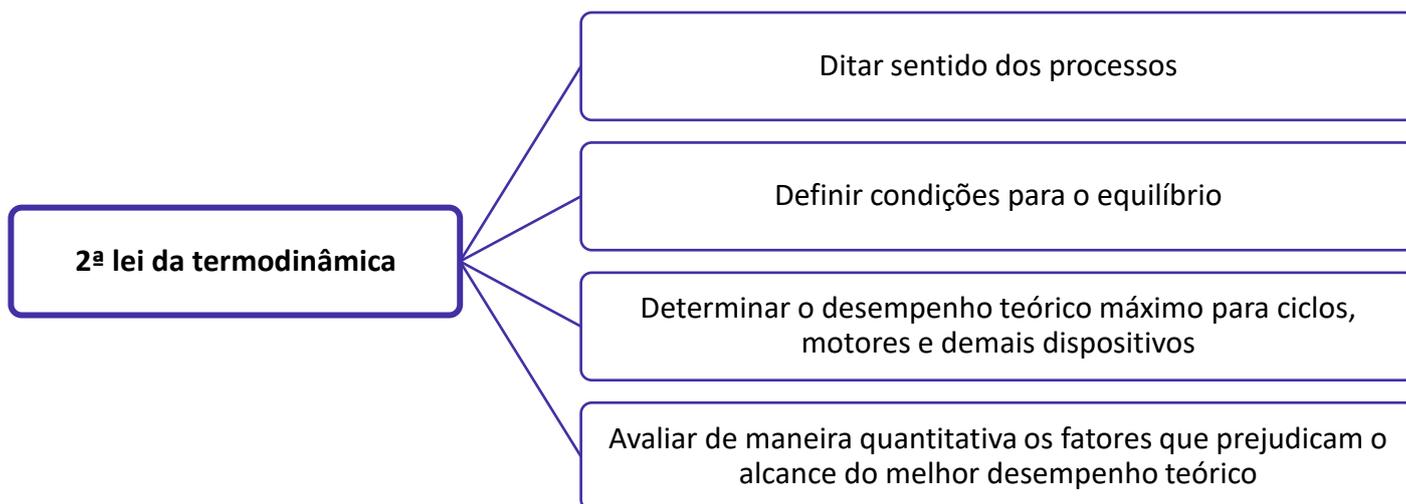
## 4 - 2ª Lei da termodinâmica

Prezado concurseiro (a), a **segunda lei da termodinâmica** foi determinada para impor restrições quanto as direções dos fluxos de calor e de trabalho não citados na primeira lei. Portanto um ciclo ocorrerá somente se satisfazer tanto a primeira quanto a segunda lei da termodinâmica.

Resumidamente a segunda lei da termodinâmica nos diz que **qualquer processo conhecido ocorre em um certo sentido e não no oposto**. Por exemplo, uma xícara de chá esfria devido a transferência de calor para o ambiente, contudo, o calor não será transferido do ambiente, com temperatura inferior, para xícara.

A segunda lei da termodinâmica juntamente com as suas deduções nos leva a diversas aplicações importantes na engenharia. Vejamos:





## 4.1 - Enunciados da 2ª Lei da Termodinâmica

Existem **três enunciados** alternativos para a segunda lei da termodinâmica. Eles são os enunciados de Clausius, Kelvin-Planck e da entropia. Os dois primeiros (Clausius e Kelvin-Planck) são os mais tradicionais e comumente estudados na física, contudo, o **enunciado da entropia** é a forma **mais eficiente para a segunda lei da termodinâmica e o mais exigido em questões de concursos**, pois este apresenta uma ampla aplicação na engenharia.

Vejamos agora os enunciados de Clausius e de Kelvin-Planck.

### Enunciado de Clausius

- É impossível para qualquer sistema operar de tal maneira que o único resultado seja a transferência de energia sob a forma de calor de um corpo mais frio para um corpo mais quente sem que ela se movimente à custa de trabalho.

### Enunciado de Kelvin-Planck

- É impossível para qualquer sistema operar em um ciclo termodinâmico e fornecer uma quantidade líquida de trabalho para a sua vizinhança enquanto recebe energia por transferência de calor de um único reservatório térmico.

Analisando o **enunciado de Clausius** notamos que as palavras “único resultado” indicam que quando ocorre transferência de calor de um corpo com menor temperatura para um de maior temperatura dever existir outros efeitos dentro do sistema realizando a transferência de calor, na sua vizinhança ou em ambos.

Um exemplo para o enunciado de Clausius se dá através da refrigeração de alimentos obtida através de uma geladeira com motor elétrico, que precisa de energia elétrica da sua vizinhança. Em outras palavras o enunciado nos diz que é impossível um ciclo de refrigeração operar sem a entrada de energia.

Em relação ao **enunciado de Kelvin-Planck** você, caro estrategista, deve estar se perguntado o que é um **reservatório térmico**. Esses reservatórios são um tipo especial de sistema que sempre mantém sua temperatura constante, mesmo ocorrendo adição ou remoção de energia através de transferência de calor.



Esses reservatórios, claramente, são considerados ideais, e podemos aproximá-los pela atmosfera terrestre, grandes lagos e oceanos e um grande bloco de cobre.

A equivalência entre os enunciados de Clausius e Kelvin-Planck pode ser comprovada pelo fato de que a violação de cada enunciado implica na violação do outro. Também podemos dizer que a base da segunda lei é a evidência experimental, uma vez que ambos os enunciados são negativos não há como provar um enunciado negativo.

Vejamos agora o enunciado da entropia da segunda lei da termodinâmica.

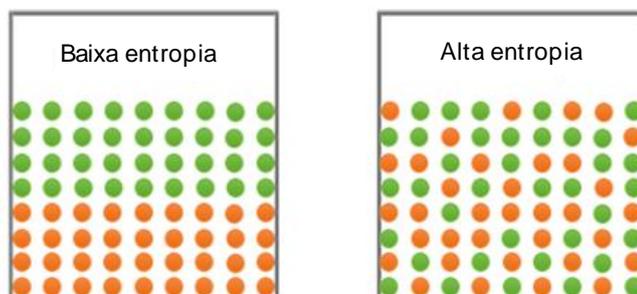
#### Enunciado da entropia

- É impossível para qualquer sistema atuar de uma maneira que a entropia seja perdida

Outra versão para o enunciado da entropia se dá pelo seguinte:

A entropia ( $S$ ) de um sistema isolado, quando submetido a um processo termodinâmico sempre cresce (processos irreversíveis) ou permanece constante (processos reversíveis),  $\Delta S \geq 0$ .

**Professor, o que é a entropia?** A entropia é outra propriedade extensiva importante, assim como massa e energia, que mede o grau de liberdade molecular de um sistema, em outras palavras, mede o grau de desorganização. Vejamos:



Quando a **desordem de um sistema aumenta** a **entropia aumenta** conforme a imagem acima.

Caro aluno (a), imagino que você tenha notado os termos **processos reversíveis e processos irreversíveis** na segunda versão do enunciado da entropia. Vamos agora conceituar cada um destes.

Um processo é chamado de irreversível se o sistema e todas as porções que compõem sua vizinhança não puderem retornar exatamente aos seus estados iniciais após o processo ocorrer. Em contrapartida, um processo é reversível se tanto a vizinhança quanto o sistema retornarem aos seus estados iniciais após o processo ocorrer, ou seja, os processos reversíveis são hipotéticos, pois são executados de uma forma perfeita.

**Processos irreversíveis** envolvem outros tipos de evento espontâneo, ou seja, incluem irreversibilidades que impedem o retorno ao estado inicial, ocorrendo assim **perdas de energia**. As

irreversibilidades podem ser internas, ocorrem dentro do sistema ou externas, que ocorrem na vizinhança. Vejamos uma lista com algumas irreversibilidades que comumente ocorrem em processos.

#### Irreversibilidades

Transferência de calor por diferença de temperatura
Expansão sem resistência de um gás ou líquido até uma menor pressão
Reação química
Mistura espontânea de matéria em estados ou composições diferentes
Atrito
Fluxo de corrente elétrica
Magnetização ou polarização com histerese
Deformação inelástica

Note que a partir desta lista fica evidente que **todos os processos reais são irreversíveis**, pois qualquer que seja o processo envolve alguma das irreversibilidades, que em alguns sistemas são toleradas em algum grau devido aos custos envolvidos para sua redução.

Além das classificações citadas para os processos, existe também o **processo internamente reversível** que é aquele que não **ocorrem irreversibilidades no interior do sistema**, como o nome sugere. Embora, as irreversibilidades podem estar presentes na vizinhança. Usualmente, consideramos que um processo é internamente reversível para resolução de questões, pois neste caso todas as propriedades intensivas são uniformes ao longo das fases presente.

**A troca de calor com diferença finita de temperatura entre o sistema e o meio é um dos fatores de irreversibilidade. Para que o processo torne-se reversível, é necessário que uma quantidade finita de calor seja trocada entre sistemas com uma diferença infinitesimal de temperatura.**

Visto isso, caro aluno (a), passaremos agora ao estudo dos ciclos termodinâmicos aplicando a segunda lei.

## 4.2 - 2ª Lei da Termodinâmica aplicada a ciclos de potência

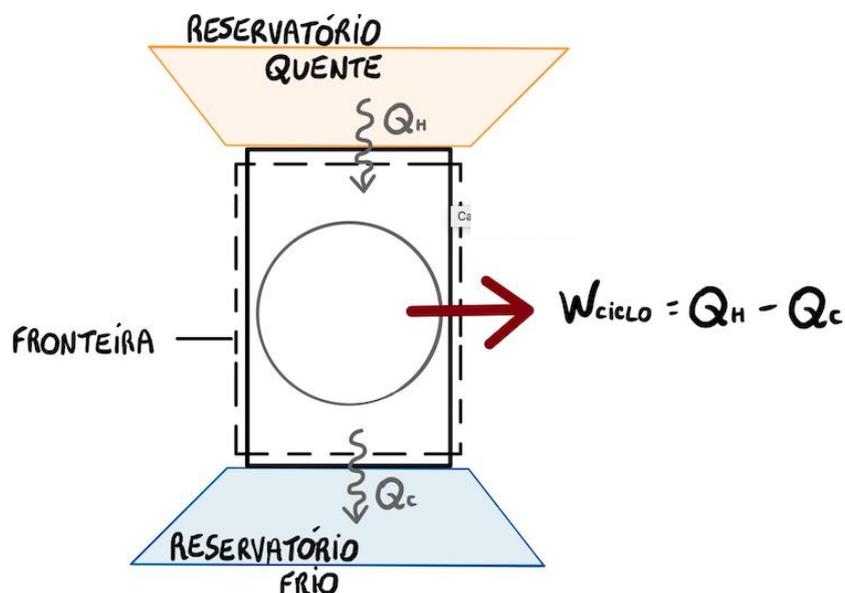
Quando um sistema passa por uma sequência de processos e no final retorna a esse estado, o sistema está executando um ciclo termodinâmico.

Vamos considerar uma máquina, que opera em ciclos, entre um reservatório quente e um reservatório frio que está desenvolvendo um trabalho líquido ( $W$ ). Podemos calcular a eficiência térmica do ciclo através da seguinte expressão matemática:

$$\eta = \frac{W_{ciclo}}{Q_H} = 1 - \frac{Q_C}{Q_H}$$



Onde  $Q_H$  indica a quantidade de calor recebida pelo sistema no reservatório quente através de transferência de calor e  $Q_C$  é a quantidade de energia que está sendo descarregada para o reservatório frio por transferência de calor.



Caso a grandeza  $Q_C$  fosse nula, a eficiência do ciclo seria 100%, contudo violaria o enunciado de Kelvin-Planck, logo, é impossível. Assim, para um sistema que executa um **ciclo de potência operando entre dois reservatórios (quente e frio) somente uma parte da transferência de calor pode ser obtida como trabalho**, e a remanescente, tem que ser transferida para o reservatório frio através de transferência de calor.



- A. A eficiência térmica de um ciclo de potência irreversível será sempre inferior a eficiência térmica de um ciclo de potência reversível durante a operação de cada um entre dois reservatórios térmicos idênticos.
- B. Qualquer ciclo de potência reversível que opera entre os mesmos reservatórios térmicos possuem a mesma eficiência térmica

A eficiência térmica máxima de um ciclo de potência reversível pode ser relacionada com a temperatura (em Kelvin) entre os reservatórios quente e frio em que:

$$\frac{Q_C}{Q_H} = \frac{T_C}{T_H}$$

Logo, duas temperaturas possuem a mesma razão que as grandezas de transferência de calor absorvido e rejeitado para um sistema percorrendo um **ciclo reversível**.

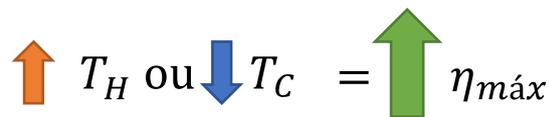


Através da equação acima é possível chegar a uma expressão matemática para a **eficiência térmica máxima de um sistema que percorre um ciclo de potência reversível** operando entre dois reservatórios. Vejamos:

$$\eta_{m\acute{a}x} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$$

A expressão acima é conhecida como eficiência de Carnot.

Note, caro aluno (a), que eficiência aumenta à medida que a temperatura  $T_H$  aumenta ou que  $T_C$  diminui.



↑  $T_H$  ou ↓  $T_C$  = ↑  $\eta_{m\acute{a}x}$



(IBFC/IDAM-2019) O Engenheiro João Vaporoso afirmou, em uma conversa com os colegas, que desenvolveu um equipamento capaz de fornecer 800,0 kJ (kilojoules) de energia a partir de uma transferência de calor de 1.200,0kJ (kilojoules). Segundo João, a máquina foi testada em uma condição em que o sistema recebia calor de uma fonte de gases quentes a 1.000,0 K (Kelvins) e descarregava energia através da transferência de calor à uma fonte que estava a 400,0 K (Kelvins). De acordo com a Segunda Lei da Termodinâmica, assinale a alternativa correta:

- a) A eficiência térmica máxima teórica seria de 66,7% e a eficiência térmica da máquina de João é de 33,3%, portanto, a afirmação de João é válida
- b) A eficiência térmica máxima teórica seria de 66,7% e a eficiência térmica da máquina de João é de 60,0%, portanto, a afirmação de João é válida
- c) A eficiência térmica máxima teórica seria de 60,0% e a eficiência térmica da máquina de João é de 66,7%, portanto, a afirmação de João está errada
- d) A eficiência térmica máxima teórica seria de 40,0% e a eficiência térmica da máquina de João é de 66,7%, portanto, a afirmação de João está errada

**Comentário:**

Para resolvermos está questão, devemos conseguir identificar, primeiramente se trata-se de um ciclo de potência, refrigeração ou bomba de calor. Como é dito que a máquina recebe calor de uma fonte térmica de gases quentes já fica claro que se trata de um ciclo de potência.

Como dito o equipamento é capaz de fornecer 800 kJ de energia a partir da transferência de 1200 kJ, ou seja, o trabalho fornecido em um ciclo é de 800 kJ e a energia transferida  $Q_H$  é 1200 kJ. Além disso, é dado que as temperaturas  $T_H$  e  $T_C$  são 400 K e 1000 K. Com estes dados podemos calcular a eficiência térmica e a eficiência de Carnot ou eficiência térmica máxima do sistema através das seguintes equações:



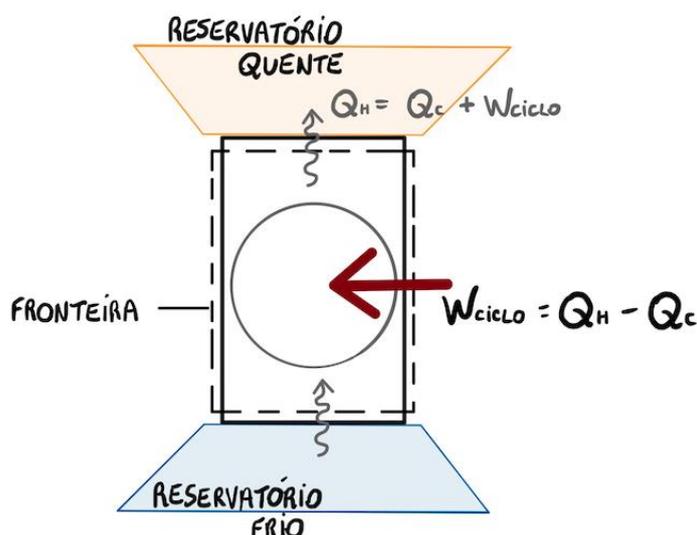
$$\eta = \frac{W_{\text{ciclo}}}{Q_H} \quad ; \quad \eta_{\text{máx}} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$$

Substituindo os valores na equação obtemos  $\eta = 0,667$  e  $\eta_{\text{máx}} = 0,6$ .

Portanto, a **alternativa C** está CORRETA e é o gabarito da questão, pois a eficiência térmica máxima para a máquina do enunciado é de 60% e a eficiência térmica da máquina é de 66,7%, de acordo com os dados fornecidos, ou seja, a afirmação de João é equivocada.

### 4.3 - 2ª Lei da termodinâmica aplicada a ciclos de refrigeração e bomba de calor

Prezado estrategista, assim como para ciclos de potência a segunda lei da termodinâmica impõe restrições ao desempenho de ciclos de refrigeração e bombas de calor. Vamos considerar um sistema, que percorre um ciclo, e que realiza comunicação térmica com dois reservatórios térmicos sendo um quente e o outro frio, conforme a imagem abaixo:



As transferências de energia ocorrem conforme indicado pelas setas, portanto, conforme a lei de conservação de energia, o **ciclo descarrega a energia ao reservatório quente  $Q_H$ , sendo esta igual a energia recebida pelo corpo frio somada ao trabalho líquido**. Esse pode ser tanto um ciclo de refrigeração, quanto um ciclo de bomba de calor, caso sua função seja remover energia do reservatório frio ou fornecer energia ao reservatório quente.

Para o **ciclo de refrigeração** o **coeficiente de desempenho** pode ser calculado por:

$$\beta = \frac{Q_C}{W_{\text{ciclo}}} = \frac{Q_C}{Q_H - Q_C}$$

O **desempenho** de uma **bomba de calor** pode ser obtido por:

$$\gamma = \frac{Q_H}{W_{\text{ciclo}}} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_C}$$



Note que se o **trabalho tende a zero** o **desempenho tende a um valor infinito**. Caso o trabalho fosse nulo, o sistema retiraria energia do corpo frio e forneceria a mesma energia ao reservatório quente, durante o ciclo. Contudo, isso violaria o enunciado de Clausius, logo, é impossível. Assim, os coeficientes de desempenho devem possuir um valor finito.



- A) O coeficiente de desempenho de um ciclo de refrigeração ou ciclo de bomba de calor irreversível será sempre inferior ao coeficiente de desempenho de um ciclo de refrigeração ou ciclo de bomba de calor reversível durante a operação de cada um entre dois reservatórios térmicos idênticos.
- B) Qualquer ciclo de refrigeração ou bomba de calor reversível que opera entre os dois mesmos reservatórios térmicos possuem os mesmos coeficientes de desempenho.

Analogamente aos ciclos de potência, os coeficientes de desempenho máximos dos ciclos de refrigeração ou bomba de calor **reversíveis** podem ser obtidos através das temperaturas dos reservatórios quente e frio. Assim, para os ciclos de refrigeração reversíveis temos:

$$\beta_{m\acute{a}x} = \frac{T_C}{T_H - T_C}$$

E para os ciclos de bomba de calor reversíveis temos que:

$$\gamma_{m\acute{a}x} = \frac{T_H}{T_H - T_C}$$

Lembre-se, prezado estrategista, que as temperaturas devem sempre estar na escala Kelvin.

Passaremos agora para o estudo dos ciclos de geração de potência.

## CICLOS DE GERAÇÃO DE POTÊNCIA

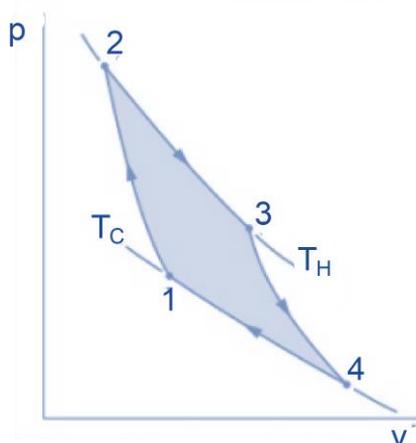
### 1 - Ciclo de Carnot

Prezado aluno (a), o **ciclo de Carnot** possui esse nome por ser um ciclo proposto pelo engenheiro francês Nicolas Carnot, no ano de 1824. Neste ciclo o sistema que está executando o ciclo atravessa uma série de quatro processos que são internamente reversíveis, sendo eles dois processos adiabáticos e dois processos isotérmicos.





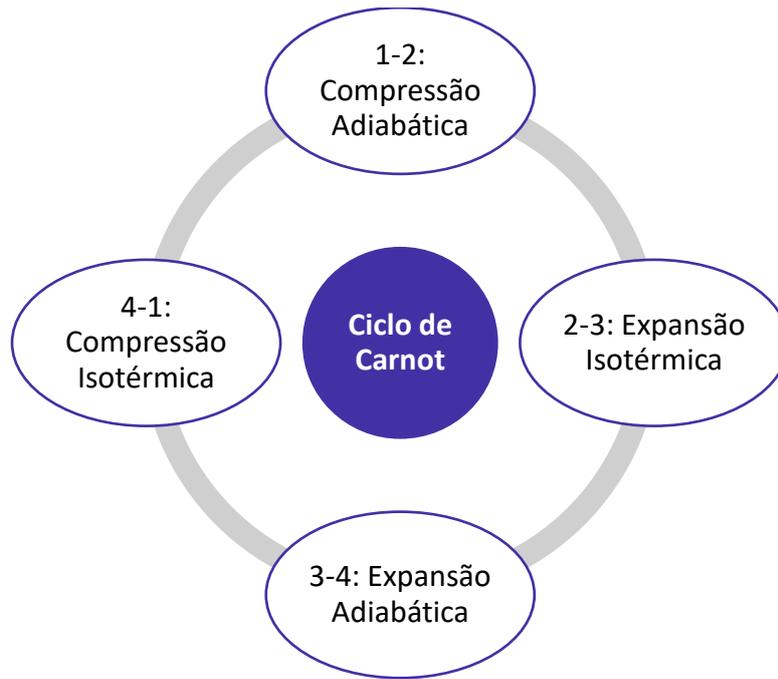
A figura abaixo representa um diagrama p-v de um ciclo de potência de Carnot. A substância utilizada é um gás no interior de um conjunto cilindro-pistão.



Vejamos o que acontece nos quatro processos do ciclo de Carnot:

- **Processo 1-2:** O gás no interior do conjunto sofre **compressão adiabática**, ou seja, não realiza troca de calor com o meio, até atingir o estado 2, no qual a temperatura é  $T_H$ .
- **Processo 2-3:** O conjunto cilindro-pistão é disposto em contato com o reservatório térmico com temperatura igual a  $T_H$ . Nesta etapa o gás sofre **expansão a temperatura constante** (isotérmica) e ao mesmo tempo recebe energia  $Q_H$  do reservatório térmico quente através de transferência de calor.
- **Processo 3-4:** O conjunto cilindro-pistão é novamente colocado sobre o apoio isolado enquanto o gás continua a se **expandir de maneira adiabática** até a temperatura diminuir para  $T_C$ .
- **Processo 4-1:** O conjunto é disposto em contato com o reservatório térmico frio com temperatura  $T_C$ . Nesta etapa o gás sofre **compressão isotérmica** até retornar ao seu estado inicial enquanto descarrega energia  $Q_C$  para o reservatório frio através de transferência de calor.

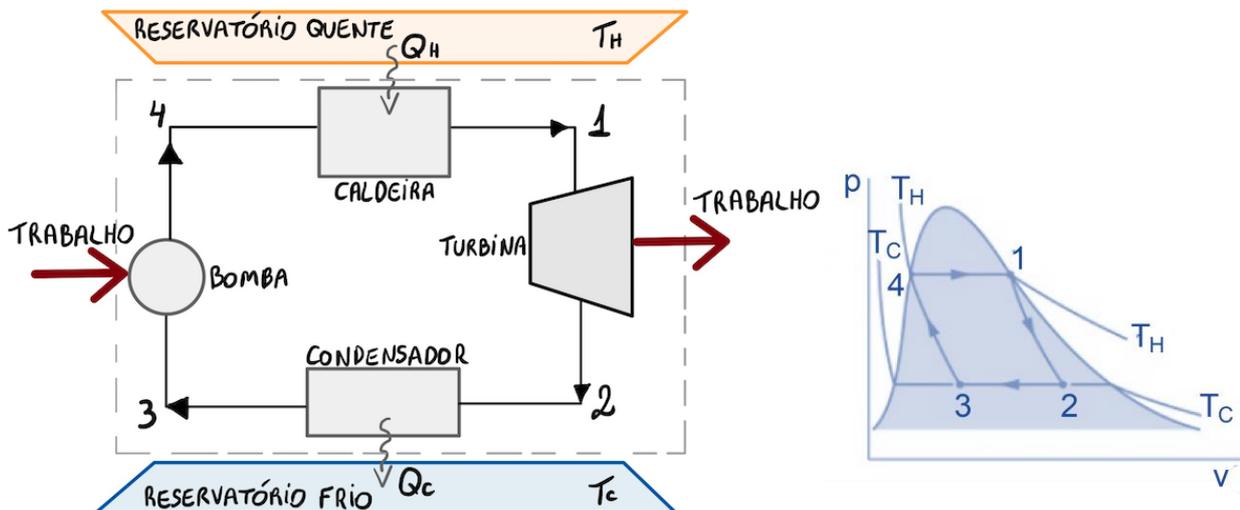




O **trabalho realizado** para cada um dos processos que ocorrem no ciclo de Carnot pode ser representado como **uma área do diagrama p-v** em que a área sob a linha do processo 1-2 representa o trabalho realizado para comprimir o gás neste processo. A área sob as linhas dos processos 2-3 e 3-4 representam o trabalho realizado por unidade de massa pelo gás de acordo com sua expansão. Por fim, a área sob a linha 4-1 representa o trabalho realizado para comprimir o gás neste processo até voltar a seu estado inicial.

A **área interna**, delimitada pelas linhas do diagrama p-v demonstram o **trabalho líquido produzido pelo ciclo**.

O ciclo de Carnot também pode ser representado por sistemas que não sejam fechados como cilindro-pistão. Vejamos a imagem abaixo onde temos uma série de componentes que são ligados entre si e possuem similaridades com uma instalação de potência a vapor simples.



Neste ciclo, meu caro aluno (a), note que a água ao passar pela **caldeira** realiza uma **mudança de fase de líquido para vapor** com temperatura constante  $T_H$  que recebendo calor de uma fonte térmica quente. Nesta mudança de fase a pressão também é constante. O vapor de água que sai da caldeira realiza uma **expansão adiabática na turbina**, onde o trabalho é desenvolvido. Nesta etapa ocorre uma redução de temperatura até  $T_C$ , e também a pressão cai.

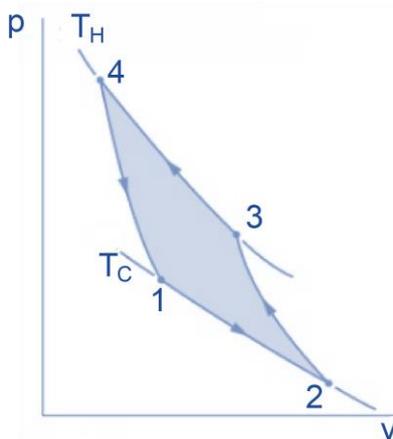
No **condensador**, quando o vapor de água atravessa este, ocorre a **transferência de calor para o reservatório frio e o vapor condensa a temperatura constante**  $T_C$  e pressão constante. Finalmente, a substância no estado líquido-vapor chega à **bomba ou compressor** e sofre novamente **compressão adiabática** até retornar ao estado inicial. Nesta etapa é necessário o fornecimento de trabalho para aumentar a pressão e a temperatura aumenta de  $T_C$  para  $T_H$ .

Podemos calcular a eficiência deste sistema pela **eficiência de Carnot** dada por:

$$\eta_{m\acute{a}x} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$$

Analogamente ao ciclo de potência de Carnot os ciclos de refrigeração e bomba de calor de Carnot podem ser descritos apenas invertendo o sentido do ciclo, em que todas as grandezas de transferências de energia irão permanecer iguais, mas estarão dirigidas de maneira oposta.

Vejamos o diagrama p-v de um ciclo de refrigeração ou bomba de calor reversível, executado por um gás dentro de um sistema fechado do tipo cilindro-pistão.



Neste tipo de sistema os seguintes processos ocorrem:

- **Processo 1-2:** ocorre expansão isotérmica do gás a temperatura  $T_C$  ao mesmo tempo que recebe energia do reservatório frio.
- **Processo 2-3:** ocorre compressão adiabática do gás até se atingir a temperatura  $T_H$ .
- **Processo 3-4:** ocorre compressão isotérmica do gás a temperatura  $T_H$  ao mesmo tempo que ocorre descarga de energia para o reservatório térmico quente.
- **Processo 4-1:** ocorre expansão adiabática do gás até sua temperatura retornar para  $T_C$ , em seu estado inicial.

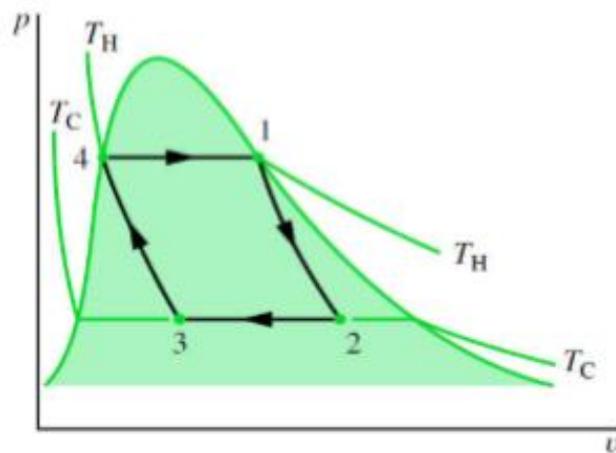


A área sombreada no diagrama p-v nos indica a entrada de trabalho líquido por unidade de massa. E os coeficientes de desempenho do ciclo de refrigeração e bomba de calor de Carnot podem ser calculados por:

$$\beta_{\max} = \frac{T_C}{T_H - T_C} \quad ; \quad \gamma_{\max} = \frac{T_H}{T_H - T_C}$$



(CEV-UECE/DETRAN-CE - 2018) Um ciclo de potência ideal que trabalha usando vapor d'água opera conforme o diagrama p x v apresentado na figura a seguir. Esse ciclo opera em um sistema constituído por quatro componentes ligados em série: turbina, condensador, bomba e caldeira. Com base nessas informações, assinale com V as afirmações verdadeiras, e com F as falsas.



Fonte: Fundamentals of engineering thermodynamics: SI version / Michael J. Moran, Howard N. Shapiro. -- 5th ed.

- ( ) O processo 4-1 corresponde à passagem do fluido de trabalho através da caldeira, onde ocorre uma expansão isotérmica.
- ( ) No processo 1-2, o fluido de trabalho entra na turbina no estado de líquido saturado, onde irá passar por um processo de expansão adiabática.
- ( ) No processo 2-3, o fluido de trabalho, correspondente a uma mistura de líquido mais vapor, passa pelo condensador sofrendo uma compressão isotérmica.
- ( ) No processo 3-4, o fluido constituído apenas por vapor saturado entra na bomba passando por um processo de compressão adiabática até atingir o estado de líquido saturado.

Está correta, de cima para baixo, a seguinte sequência:

- a) V, F, F, V.
- b) F, V, V, F.
- c) F, V, F, V.
- d) V, F, V, F.

Comentário:



O ciclo representado na questão trata-se de um ciclo de Carnot composto por caldeira, turbina, condensador e bomba. Vamos analisar cada um dos processos:

(V) Neste ciclo, o processo 4-1 corresponde a passagem do fluido de trabalho pela caldeira, onde ocorre sua mudança de fase (expansão) para vapor com temperatura constante.

(F) O processo 1-2 representa o fluido de trabalho que entra na turbina no estado de vapor saturado e sofre expansão adiabática.

(V) No processo 2-3, o fluido de trabalho, atravessa o condensador e corresponde assim a uma mistura líquido-vapor, sofrendo uma compressão a temperatura constante.

(F) No último processo 3-4, antes de retornar ao estágio inicial, o fluido em estado líquido-vapor atinge a bomba que realiza uma nova compressão adiabática.

Portanto, a **alternativa D** está CORRETA e é o gabarito da questão.

Para finalizar!

**O ciclo de Carnot é composto por quatro processos reversíveis, sendo dois deles isotérmicos e os demais adiabáticos. A eficiência de um ciclo de Carnot operando como refrigerador ou motor térmico entre dois reservatórios térmicos a temperaturas distintas é a maior possível.**

Encerramos assim o estudo do ciclo de Carnot e vamos ao estudo das máquinas térmicas, iniciando com os sistemas de potência a vapor

## 2 - Sistemas de Potência a Vapor

Prezado aluno (a), as **máquinas térmicas** são dispositivos que transformam energia interna proveniente de um combustível em energia mecânica. Essas máquinas operam em ciclos baseados na utilização de duas fontes de temperatura, uma quente e uma fria. Alguns exemplos de máquinas térmicas são os motores de combustão interna.

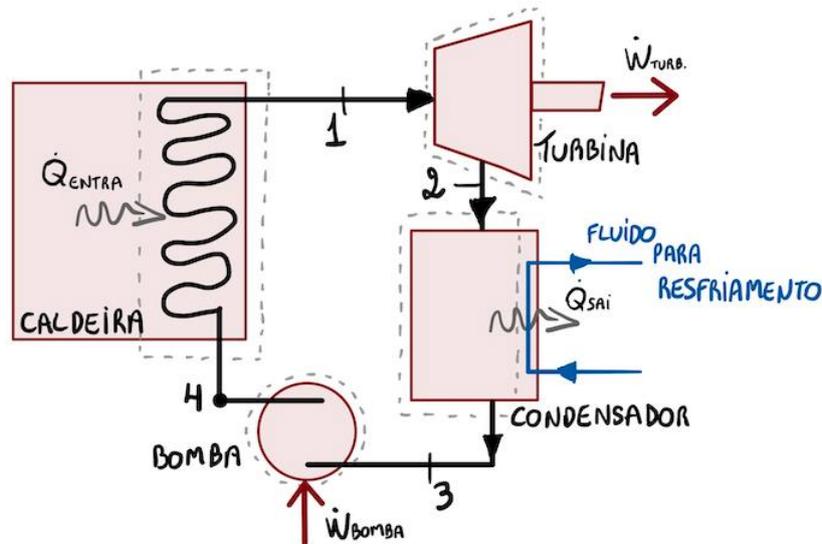
Nesta seção de nossa aula vamos estudar alguns ciclos de potência no qual as máquinas térmicas são baseadas bem como suas características mais importantes que são temas em provas de concursos públicos.

Atualmente diversas usinas para geração de energia instaladas ao redor do mundo requerem um ciclo termodinâmico. A maioria delas utilizam como princípio o ciclo de Rankine que representa o bloco básico de como deve ser construída uma usina de potência a vapor. Em se tratando em questões de concurso o ciclo de Rankine geralmente aparece em questões de prova. Vamos a seu estudo!

### 2.1 - Ciclo de Rankine

O ciclo de Rankine é representado com um subsistema de uma usina de produção de vapor composto por uma turbina, condensador, bomba e caldeira. A figura abaixo representa um ciclo de Rankine onde o trabalho e as transferências de calor mais importantes são demonstradas.





As perdas inevitáveis que ocorrem entre os componentes e suas vizinhanças são desconsideradas para a análise do ciclo assim como a variação de energia cinética e potencial.

Para o ciclo de potência a vapor de Rankine tanto a primeira lei quanto a segunda lei da termodinâmica são válidas. Assim, foram desenvolvidas equações que representam as transferências de energia e de massa que ocorrem entre cada componente do ciclo iniciando pela turbina até a caldeira, vejamos.

### Turbina

Na turbina, o vapor proveniente da caldeira se expande para produzir trabalho e na sequência é descarregado para o condensador com pressão relativamente baixa. Assim, temos que a taxa pela qual o trabalho é desenvolvido por unidade de massa de vapor que passa pela turbina é representado por:

$$\frac{\dot{W}_t}{\dot{m}} = h_1 - h_2$$

Onde  $h_1$  e  $h_2$  são as entalpias nos pontos 1 e 2 respectivamente.

### Condensador

No condensador acontece a transferência de calor do fluido de trabalho para a fonte fria composta geralmente por uma água de resfriamento que percorre um circuito separado. Ocorre a condensação do fluido e conseqüentemente o aquecimento da água de resfriamento. Desta maneira, a taxa pela qual a energia é transferida pelo calor do fluido de trabalho para a água utilizada para resfriamento por unidade de massa é dado por:

$$\frac{\dot{Q}_{sai}}{\dot{m}} = h_2 - h_3$$

Em que  $h_2$  e  $h_3$  são as entalpias nos pontos 2 e 3 respectivamente.

### Bomba



A bomba é responsável pelo bombeamento do líquido condensado que deixa o condensador até a caldeira com uma pressão mais alta. Assim, desconsiderando as perdas temos que a potência de entrada da bomba por unidade de massa pode ser calculada através de:

$$\frac{\dot{W}_b}{\dot{m}} = h_4 - h_3$$

Em que  $h_4$  e  $h_3$  são as entalpias nos pontos 4 e 3 respectivamente.

## Caldeira

Na caldeira, a água proveniente da bomba, também chamada como água de alimentação é aquecida até a saturação e virar vapor. Neste componente do ciclo podemos calcular a taxa de transferência de calor da fonte de energia para o fluido de trabalho por unidade de massa pela seguinte expressão:

$$\frac{\dot{Q}_{entra}}{\dot{m}} = h_1 - h_4$$

Onde  $h_1$  e  $h_4$  são as entalpias nos pontos 1 e 4 respectivamente.

## Eficiência térmica

No ciclo de Rankine a eficiência térmica é calculada pela seguinte expressão:

$$\eta = \frac{\frac{\dot{W}_t}{\dot{m}} - \frac{\dot{W}_b}{\dot{m}}}{\frac{\dot{Q}_{entra}}{\dot{m}}} = \frac{(h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)}{h_1 - h_4}$$

Note que a eficiência térmica indica a quantidade de energia que é fornecida para o fluido de trabalho que atravessa a caldeira e na sequência é convertida em trabalho líquido na saída. Também temos que o trabalho líquido na saída é idêntico ao calor líquido na entrada, desta maneira uma outra maneira de representa a eficiência térmica se da pela seguinte equação:

$$\eta = 1 - \frac{\dot{Q}_{sai}/\dot{m}}{\dot{Q}_{entra}/\dot{m}}$$



Além da eficiência térmica, pode ser cobrado, em questões de prova um outro parâmetro utilizado na caracterização do desempenho da planta, denominado **back work ratio** (bwr). Este parâmetro indica a **relação entre o trabalho de entrada na bomba e o trabalho produzido na turbina**. Vejamos:



$$bwr = \frac{\dot{W}_b/\dot{m}}{\dot{W}_t/\dot{m}} = \frac{h_4 - h_3}{h_1 - h_2}$$

Prezado aluno (a), as equações citadas até o momento para o ciclo de Rankine são desenvolvidas através dos balanços das taxas de massa e energia e elas podem ser aplicadas em casos de desempenho real na presença de irreversibilidades (perdas). Claro que não irão representar com precisão o desempenho global. Também, podemos utilizar as equações para a caracterização de um ciclo de Rankine ideal, vejamos.

### 2.1.1 - Ciclo Ideal de Rankine

Caso o fluido de trabalho passar por todos os componentes do ciclo de potência a vapor sem irreversibilidades, não irá ocorrer queda de pressão por atrito na caldeira e no condensador, logo o fluido de trabalho passará por esses processos à pressão constante. Também, na ausência de perdas de transferência de calor com as vizinhanças, o processo por meio da turbina e da bomba será isentrópico.

**Mas professor, o que é um processo isentrópico? Processos isentrópicos** são aqueles em que a **entropia é constante**, ou seja, ao final do processo a substância terá o mesmo valor de entropia inicial

Vejamos o diagrama temperatura-entropia de um ciclo ideal de Rankine:

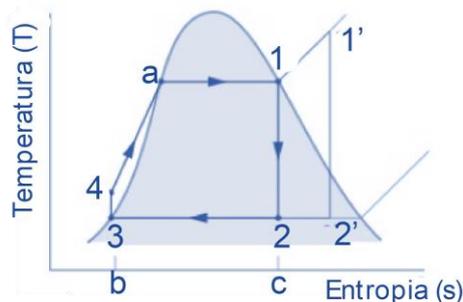


Diagrama T-s de um ciclo Rankine idealizado

Os processos reversíveis internos que ocorrem neste ciclo ideal são:

- **Processo 1-2:** Nesta etapa ocorre expansão isentrópica do fluido de trabalho por meio da turbina como vapor saturado no estágio, 1 até a pressão do condensador.
- **Processo 2-3:** Transferência de calor do fluido de trabalho sem variação de pressão através do condensador até atingir o estado de líquido saturado em 3.
- **Processo 3-4:** Nesta etapa ocorre compressão isentrópica através da bomba até se alcançar o estágio 4 como líquido comprimido.
- **Processo 4-1:** Ocorre a transferência de calor para o fluido de trabalho onde este escoa a pressão constante por meio da caldeira para completar o ciclo.

Cabe destacar que o **ciclo de Rankine permite também o superaquecimento do vapor** ocorrendo o ciclo 1'-2'-3-4-1'.



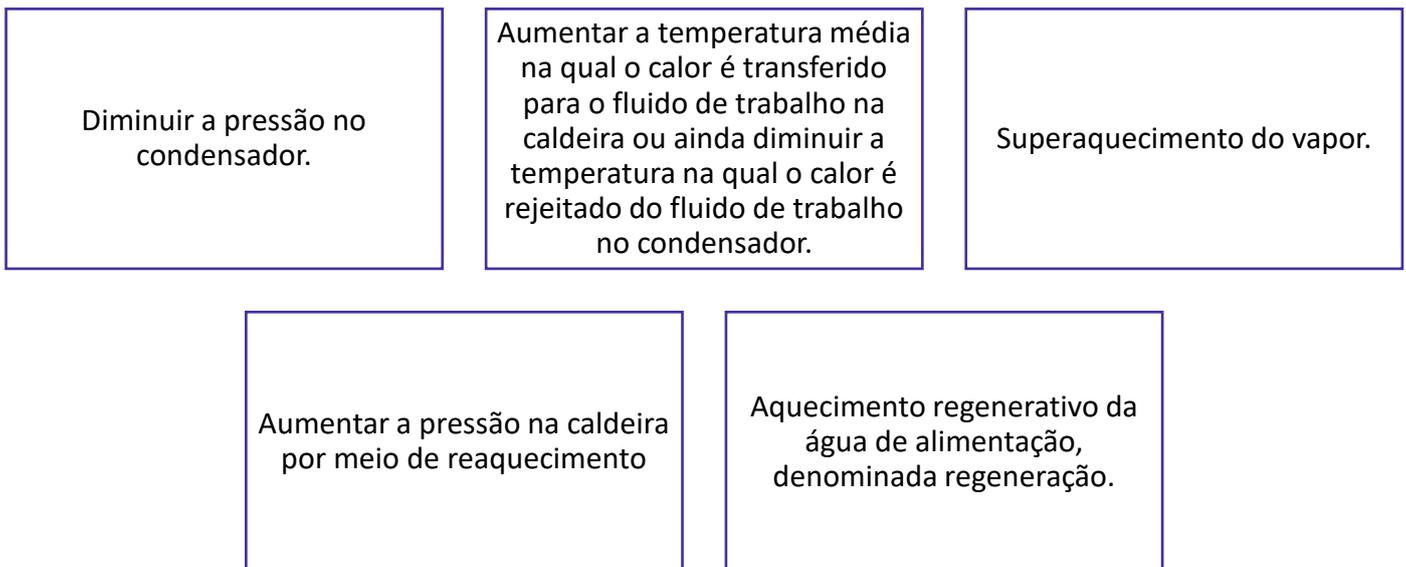
Por fim, podemos ainda calcular o **trabalho da bomba** para um ciclo ideal de Rankine a partir das pressões e do volume específico no estágio 3, por meio da seguinte equação:

$$\frac{\dot{W}_b}{\dot{m}} \approx v_3(p_4 - p_3)$$

Sendo este um processo, do líquido que flui por meio da bomba, isentrópico- reversível e adiabático internamente.

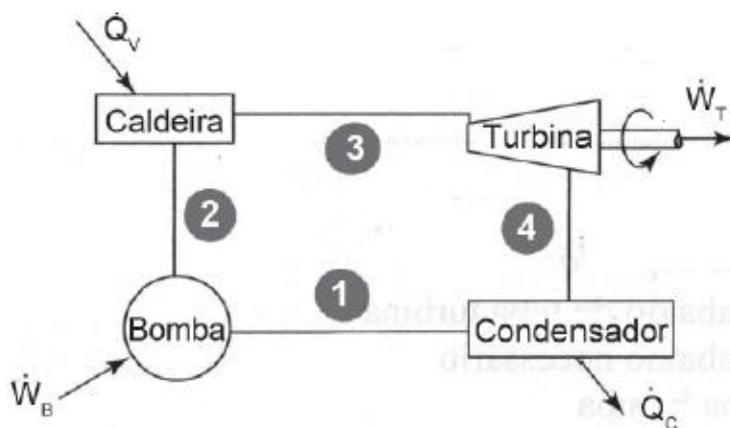
### 2.1.2 - Medidas para aumentar a eficiência

Algumas medidas podem ser adotadas para aumentar a eficiência térmica de máquina que opera em ciclo de Rankine que são:



(CESGRANRIO/TRANSPETRO-2018)





A Figura acima apresenta os componentes principais de um ciclo de Rankine clássico. O número 4 apresenta

- a) vapor à alta pressão
- b) vapor à baixa pressão
- c) água à alta pressão
- d) água à baixa pressão
- e) produtos da combustão

**Comentário:**

A **alternativa A** está incorreta. Vapor a alta pressão se encontra na saída da caldeira, estágio 3.

A **alternativa B** está CORRETA e é o gabarito da questão. Ao atravessar a turbina o fluido de trabalho sofre expansão isentrópica e sua pressão é reduzida.

A **alternativa C** está incorreta. No ciclo de Rankine a água ao atravessar a bomba é comprimida de maneira isentrópica no estado de líquido comprimido, representado pelo estágio 2 da figura.

A **alternativa D** está incorreta. Água a baixa pressão pode ser encontrada no estágio 1 da figura entre o condensador e a bomba.

A **alternativa E** está incorreta, pois produtos de combustão não é representado como um componente principal de um ciclo Rankine.



Em um ciclo a vapor de geração de potência, a eficiência térmica do ciclo pode ser aumentada pela diminuição da pressão no condensador, desde que a temperatura de saturação nesse dispositivo mantenha-se acima da temperatura do meio para o qual o condensador dispense calor.

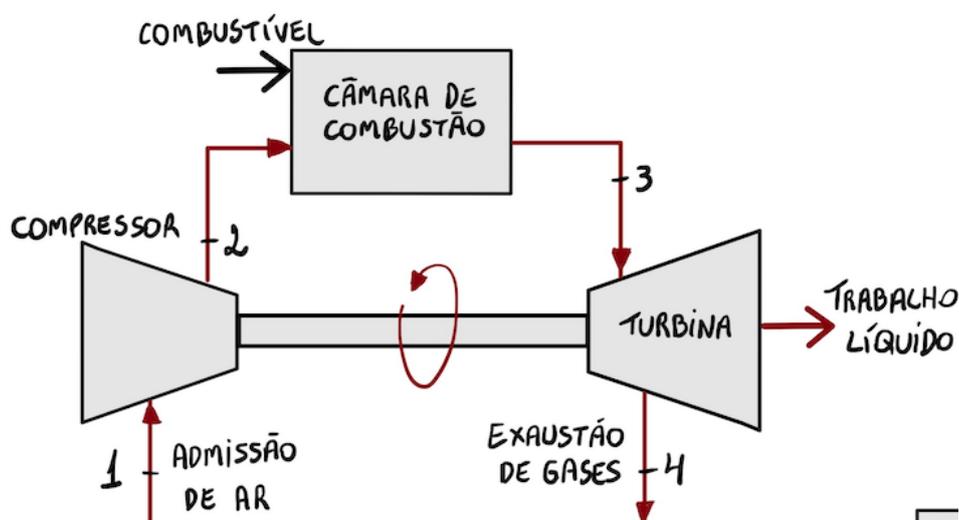
Para finalizarmos, a regeneração em ciclos Rankine tem como base aproximar, em termos teóricos, o desempenho deste com o correspondente de Carnot.

Com isso, caro estrategista, encerramos o estudo do ciclo de Rankine e passaremos para o estudo dos ciclos de potência a gás.

## 3 - Ciclos de Potência a Gás

### 3.1 - Ciclo de ar-padrão Brayton

O ciclo de **ar-padrão Brayton** é uma aproximação dos processos que acontecem nas turbinas a gás, em outras palavras, é o ciclo ideal dos motores de turbina a gás. Os motores de turbina a gás reais, operam em um ciclo aberto, conforme a imagem abaixo.

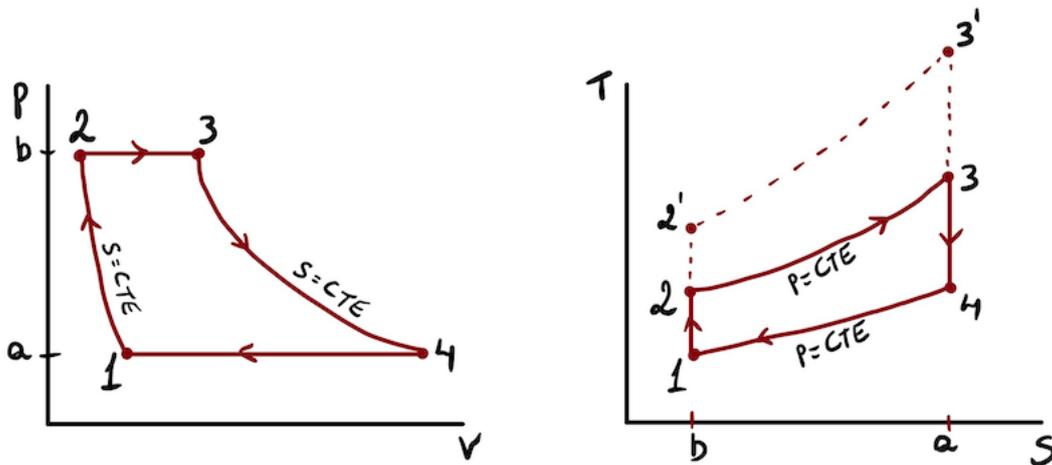
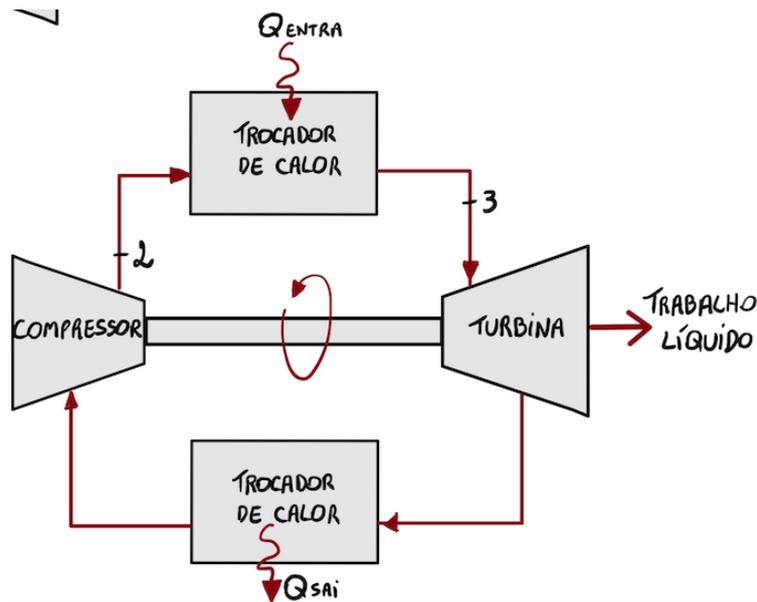


O ciclo de turbina a gás pode ser idealizado (ciclo Brayton) e modelado como um ciclo fechado a partir da assunção de algumas hipóteses. Vejamos:

- O fluido de trabalho é uma quantidade fixa de ar, que é assumido como gás ideal com calores específicos constantes.
- Não existe processo de admissão e descarga.
- O processo de combustão cede lugar a uma transferência de calor por uma fonte externa.
- Todos os processos são internamente reversíveis.

Por meio destas hipóteses, a figura abaixo representa o ciclo Brayton e seus diagramas p-v e T-s.





Por meio das idealizações os seguintes processos ocorrem no ciclo Brayton:

- **Processo 1-2: Compressão isentrópica** quando ar atravessa o compressor
- **Processo 2-3:** Fornecimento de calor ao por meio de uma fonte externa a **pressão constante**.
- **Processo 3-4: Expansão isentrópica** na turbina, gerando trabalho.
- **Processo 4-1:** Rejeição de calor a **pressão constante** para uma fonte externa.

Cabe destacar que o ciclo Brayton ocorrem entre 2 linhas de pressão constante, portanto a razão entre as pressões ( $r_p$ ) é importante.

$$r_p = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_3}{P_4}$$



A razão entre as pressões não é a taxa de compressão.



A **razão máxima de pressão no ciclo Brayton** é limitada pela máxima temperatura do ciclo, que ocorre no final do processo de combustão (3) e esta temperatura é limitada pela resistência do material das palhetas da turbina.

Desconsiderando-se as irreversibilidades ocasionadas pela circulação de ar pelos diversos componentes do ciclo Brayton, não ocorre perda de carga por atrito e o ar escoia a pressão constante pelos trocadores de calor. Além disso, ignorando as perdas por transferência de calor para o ambiente no compressor e na turbina os processos através destes são isentrópicos.

Prezado aluno (a), note que todos os ciclos de potência a ar possuem suas similaridades e com o ciclo Brayton não é diferente, pois as **áreas nos diagrama T-s e p-v indicam o calor e o trabalho, respectivamente.**

No diagrama T-s a área 2-3-a-b-2 representa o calor adicionado por unidade de massa, e a área 1-4-a-b-1 demonstra o calor rejeitado por unidade de massa. No digrama p-v a área 1-2-a-b-1 representa o trabalho fornecido ao compressor por unidade de massa e a área 3-4-b-a-3 indica o trabalho produzido pela turbina. As áreas de cada figura indicam o trabalho líquido produzido e o calor líquido absorvido.

### Eficiência térmica

Para encontrarmos as transferências de energia em forma de calor em trabalho em cada componente do ciclo Brayton, realizando as suposições necessárias, as seguintes expressões podem ser utilizadas:

$$\frac{\dot{W}_{turbina}}{\dot{m}} = h_3 - h_4 \quad ; \quad \frac{\dot{W}_{comp}}{\dot{m}} = h_2 - h_1$$
$$\frac{\dot{Q}_{entra}}{\dot{m}} = h_3 - h_2 \quad ; \quad \frac{\dot{Q}_{sai}}{\dot{m}} = h_4 - h_1$$

E assim a **eficiência térmica** do ciclo pode ser obtida por:

$$\eta = \frac{\dot{W}_{turb}/\dot{m} - \dot{W}_{comp}/\dot{m}}{\dot{Q}_{entra}/\dot{m}} = \frac{(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)}{h_3 - h_2}$$

Uma maneira de se aumentar a eficiência térmica de um ciclo Brayton se dá através do aumento da relação de pressão no compressor.

**A eficiência térmica do ciclo Brayton das turbinas a gás que operem entre dois níveis de temperatura fixos será tanto maior quanto maior for a razão entre as pressões da substância de trabalho depois e antes do processo de compressão do ciclo.**

A **razão do trabalho reverso** para o ciclo Brayton é dada por:

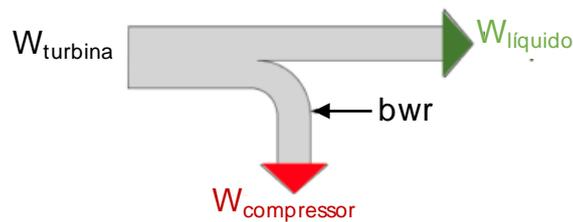
$$bwr = \frac{\dot{W}_{comp}/\dot{m}}{\dot{W}_{turb}/\dot{m}} = \frac{h_2 - h_1}{h_3 - h_4}$$





Uma parte relativamente grande do trabalho produzido pela turbina é requerida para acionar o compressor no ciclo Brayton. Isso se deve ao fato que o volume específico do gás que escoa pelo compressor é muito maior do que o líquido que passa por uma bomba de um ciclo de potência a vapor, por exemplo.

**Razões de trabalho reversos típicos em turbinas a gás variam entre 40% e 80%.** Ou seja, uma parte significativa do trabalho é usada para acionar o compressor. Comparando-se as razões de trabalho reverso de instalações de potência a vapor que são normalmente entre 1% e 2%.



Dando sequência!

Recomenda-se que ciclos de turbina a gás operem no modo combinado, de forma a se incrementar a eficiência global da planta de geração. Nesse sentido, na situação em que apenas o ciclo Brayton esteja em operação e o ciclo vapor, em planejamento, a utilização de um regenerador de calor pode elevar a eficiência do ciclo Brayton, desde que o ciclo Rankine não esteja operacional. Essa estratégia é recomendável se o retorno financeiro da economia de combustível cobrir o investimento inicial, admitindo-se que fatores econômicos prevaleçam na análise.



**(CESGRANRIO/PETROBRAS - 2018) Numa turbina a gás simples, o trabalho no compressor e na turbina valem 350 kJ/kg e 600 kJ/kg, respectivamente. Sabe-se que a eficiência desses equipamentos é de 80%, e que 750 kJ/kg de calor são trocados no trocador de calor de alta temperatura.**

**Sendo assim, o rendimento aproximado dessa turbina é de**

- a) 28,5%
- b) 33,3%
- c) 46,7%
- d) 63,3%
- e) 80,0%



### Comentário:

A **alternativa E** está CORRETA e é o gabarito da questão.

Nesta questão a banca propôs uma enorme PEGADINHA para o candidato. Note que é dada a eficiência da turbina e do compressor no enunciado e é solicitado o rendimento da turbina ou seja, é igual a eficiência fornecida de 80%, contudo, vamos calcular a **eficiência térmica do ciclo** a caráter de aprendizado:

$$\eta = \frac{\dot{W}_{turb}/\dot{m} - \dot{W}_{comp}/\dot{m}}{\dot{Q}_{entra}/\dot{m}} = \frac{600 - 350}{750} = 33,33\%$$

Prezado aluno (a), note que a eficiência térmica do ciclo é uma das alternativas da questão, induzindo a maioria dos candidatos ao erro. Sempre fique atento aos enunciados das questões para quando se deparar com uma pegadinha utilizar ela a seu favor e ganhar tempo durante a sua prova.

Agora, para incrementar nossos conhecimentos, devemos saber que algumas câmaras de combustão de turbinas a gás utilizam injeção de água para diminuir a temperatura da chama, o que, conseqüentemente, possibilita baixos índices de emissão de NOx. Apesar do resfriamento, a eficiência térmica do ciclo não é reduzida se comparado com outro ciclo semelhante que não utiliza esse artifício.



Em relação à classificação das turbinas a vapor, quanto ao sentido do escoamento do vapor, as turbinas a vapor axiais são usadas para maiores capacidades e vazões de vapor e produzem eficiências mais elevadas que as turbinas radiais.

Além disso, nas turbinas a vapor existem as palhetas móveis que giram e as palhetas fixas sendo que estas últimas acham-se presas na carcaça.

Encerramos aqui o estudo do ciclo Brayton, vamos agora ao estudo do ciclo Stirling.

## 3.2 - Ciclo Stirling

Caro estrategista, uma maneira de se conseguir consideráveis  **aumentos na eficiência térmica de instalações de potência de turbinas a gás** se dá através de **inter-resfriamento, reaquecimento e regeneração**. Antes de estudarmos o ciclo Stirling vamos entender como funcionam as turbinas a gás regenerativas.

Como a temperatura de saída de uma turbina a gás simples é maior do que a temperatura ambiente, seria um desperdício termodinâmico descarregar o gás quente de escape da turbina diretamente na vizinhança. Através da utilização de um trocador de calor, denominado **regenerador**, é possível utilizar esse potencial do **gás de escape para pré-aquecer o ar que deixa o compressor** antes de entrar no combustor, diminuindo a quantidade de combustível de alimentação no combustor.

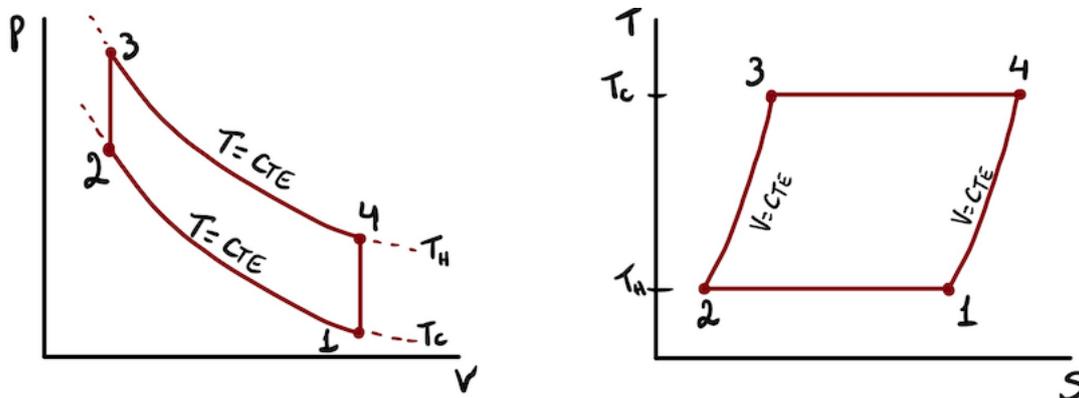


O ciclo Stirling utiliza um regenerador e esse ciclo consiste em quatro processos internamente reversíveis. Este ciclo consiste em quatro processos internamente reversíveis em série que são:

- **Processo 1-2: Compressão isotérmica**
- **Processo 2-3: Aquecimento isovolumétrico.**
- **Processo 3-4: Expansão isotérmica.**
- **Processo 4-1: Resfriamento isovolumétrico.**

Se considerarmos a utilização de um regenerador com 100% de eficiência todo o calor rejeitado no processo 4-1 permite proporcionar o calor fornecido no processo 2-3, desta forma todo o calor fornecido ao fluido de trabalho pelas fontes externas se dá no processo isobárico 2-3 e todo o calor rejeitado para a vizinhança ocorre no processo 1-2. Conclui-se então que a **eficiência térmica do ciclo de Stirling** pode ser calculada pela **mesma equação utilizada para o ciclo de Carnot**.

Vejamos os diagramas p-v e T-s do ciclo Stirling.



Devido a eficiência térmica do ciclo Stirling ser a mesma que o ciclo de Carnot, um motor do tipo cilindro-pistão que opera neste ciclo regenerativo fechado vem sendo estudado nos últimos anos. Esse motor leva o nome de seu ciclo, motor Stirling.

O **motor Stirling** é uma oportunidade da concepção de uma máquina térmica de alta eficiência com baixa emissão durante sua combustão, pois a **combustão ocorre externamente** e não no interior do cilindro como nos ciclos Otto e Diesel. No motor Stirling é possível a transferência da energia dos produtos da combustão para o fluido de trabalho. Logo, este é um **motor de combustão externa**.

O motor Stirling também é conhecido como “motor de ar quente” devido ao fato de utilizar os gases atmosféricos como fluido de trabalho. A sua simplicidade sobressai em relação aos outros tipos de motores, porque este consiste em duas câmaras com diferentes temperaturas que aquecem e resfriam um gás de forma alternada, causando expansão e compressão ciclicamente, o que faz movimentar dois êmbolos conectados a um eixo.

Nos modelos mais simples de motor Stirling o gás utilizado é o ar, já nos modelos de alta potência e rendimento gás hélio ou hidrogênio podem ser utilizados. Diferentemente dos motores de combustão interna o fluido de trabalho nunca deixa o interior do motor, logo o **motor Stirling é uma máquina de ciclo fechado**.

As vantagens do motor Stirling são:



- Menor poluição comparado com motores ciclo Diesel e ciclo Otto.
- Silencioso com baixa vibração.
- Multi-combustível (gasolina, etanol, metanol, GLP, Energia Solar, biogás...)

**Professor, se o motor Stirling possui tantas vantagens por que não é utilizado nos motores de automóveis e caminhões?** Os motores Stirling possuem desvantagens também e a principal dela é o fato de que não se consegue variar a rotação rapidamente em motor que opere neste ciclo, ou seja, uma rápida aceleração, ganho de rotação, não é viável, sendo assim normalmente o motor Stirling opera em baixas rotações.



**(CS UFG/SANEAGO - 2018) Motor Stirling é uma máquina térmica de ciclo fechado, inventado e patenteado pelo escocês Robert Stirling em 1816, em pleno desenvolvimento da Revolução Industrial inglesa. O motor Stirling**

- a) é um motor movido a vapor de água superaquecida que dispensa a presença de caldeira.
- b) possui o ciclo térmico que melhor se aproxima do ciclo de Carnot.
- c) é um motor de natureza estacionária e trabalha tipicamente em rotações altas.
- d) possui ciclo térmico compreendido por duas curvas isobáricas e duas curvas isocóricas.

**Comentário:**

A **alternativa A** está incorreta, uma vez que o motor Stirling normalmente utiliza algum tipo de combustível para sua alimentação, podendo utilizar (gasolina, etanol, gás natural, energia solar, calor geotérmico...) o único requisito para se produzir trabalho em um motor Stirling é a geração de uma diferença significativa de temperatura entre as câmaras quente e fria de trabalho.

A **alternativa B** está CORRETA e é o gabarito da questão. O ciclo Stirling permite uma eficiência térmica idêntica ao ciclo de Carnot quando idealizado, sendo este o limite teórico máximo de rendimento para máquinas térmicas.

A **alternativa C** está incorreta. O motor Stirling normalmente opera em baixas rotações e não permite a sua variação rapidamente.

A **alternativa D** está incorreta. O ciclo Stirling consiste em duas curvas Isotérmicas e duas curvas isocóricas.

Para encerrarmos!

**Aplicação das turbinas a gás podem ser realizadas de formas distintas como, por exemplo, utilizando diretamente o trabalho da árvore como é o caso do acionamento de geradores elétricos. Outra aplicação é aquela em que se utiliza tanto o trabalho da árvore como da força de reação dos gases de escape. Nesse último caso a turbina é utilizada em aviões turboélices.**



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Muito obrigado meu caro aluno ou minha cara aluna! Novamente agradeço sua paciência para me acompanhar por toda esta aula<sup>1</sup>. Sei que a jornada é dura, mas saiba que cada vez que você chegar aqui, no final da aula, você está **um passo mais próximo do seu objetivo**.

As ciências térmicas e os sistemas térmicos são um dos temas mais longos e importantes na engenharia mecânica e, principalmente, possuem uma grande incidência em questões de prova. Devido a sua grande abrangência busquei compilar nesta aula os principais tópicos sobre termodinâmica e máquinas térmicas. Portanto é imprescindível que você domine tudo o que foi abordado nesta aula. Não economize nas revisões e na resolução de questões 😊.

Quaisquer dúvidas, sugestões ou críticas entrem em contato conosco. Estou disponível no fórum no Curso, por e-mail e, inclusive, pelo *instagram*.

Aguardo você na próxima aula. Até lá!

**Juliano de Pelegrin**

---

<sup>1</sup> **Bibliografia base utilizada nesta aula:**

Michael J. Moran, Howard N. Shapiro, Daisy D. Boettner, Margaret. B Bailey: Princípios da Termodinâmica para Engenharia, 7ª Ed. 2013.

Série Van Wylen, Claus Bornakke, Richard E. Sonntag: Fundamentos da Termodinâmica: 8ª Ed., 2013.





## SIGA MINHAS REDES SOCIAIS



@profjulianodp



<https://t.me/profjulianodp>



Prof. Juliano de Pelegrin



## QUESTÕES COMENTADAS

### 1. (CEBRASPE/CODEVASF-2021) Julgue o item a seguir, relativo a sistemas termomecânicos.

O ciclo Rankine ideal possui os seguintes processos: pressurização adiabática reversível, aquecimento a pressão constante, expansão adiabática reversível e resfriamento a pressão constante.

#### Comentário:

O **item** está correto. O ciclo de Rankine ideal é composto por 4 processos internamente reversíveis que são:

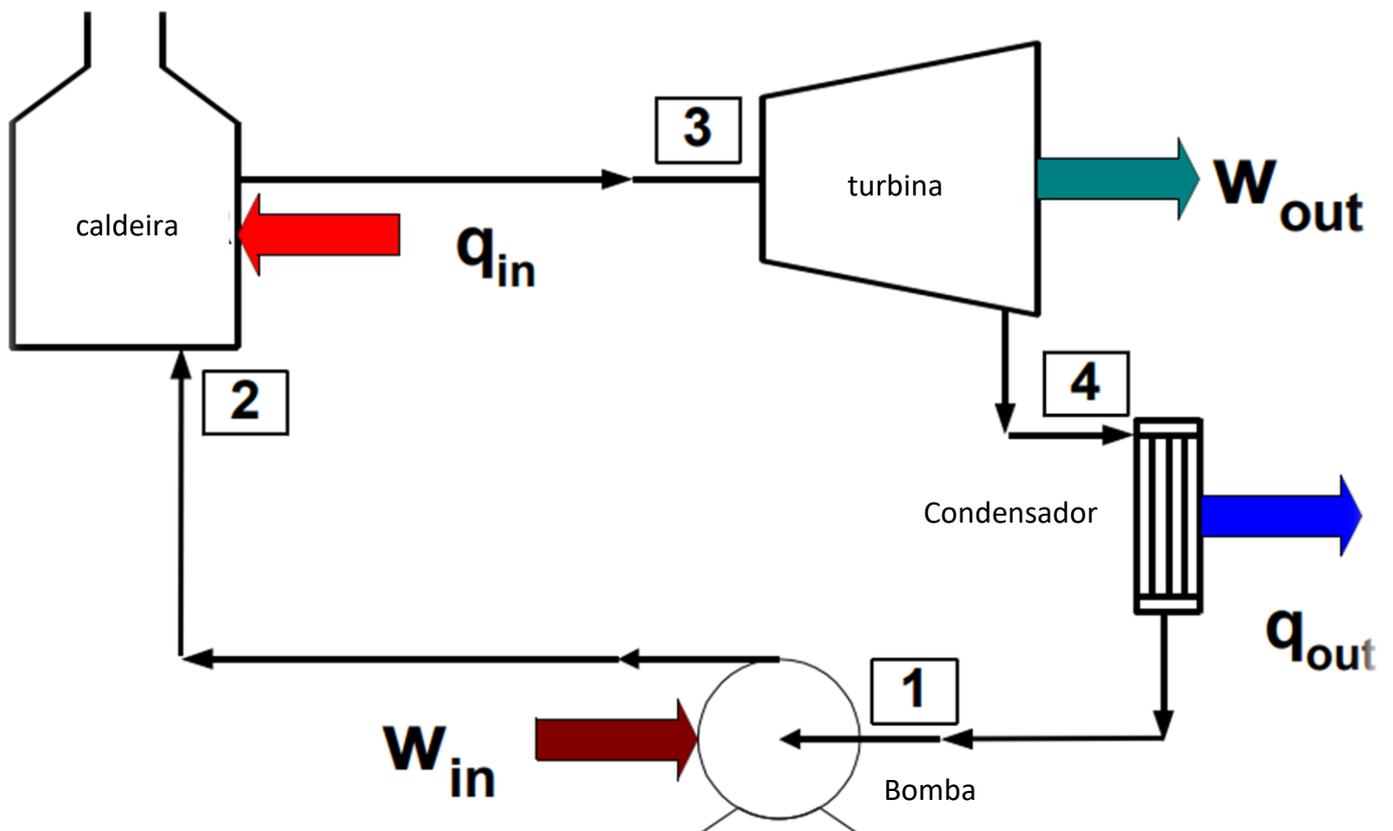
1-2 **Compressão** adiabática reversível (isentrópica) na **bomba**;

2-3 **Aquecimento** a pressão constante na **caldeira**;

3-4 **Expansão** adiabática reversível (isentrópica) na **turbina**;

4-1 **Rejeição de calor** a pressão constante no **condensador**.

Vejam os componentes básicos de um ciclo de Rankine.



2. (CEBRASPE/CODEVASF-2021) A respeito dos ciclos termodinâmicos, julgue o item a seguir.

Em um ciclo de compressão de vapor, o evaporador retira calor do fluido refrigerante após sua expansão.

**Comentário:**

O **item** está incorreto. Em um ciclo de compressão de vapor, o fluido refrigerante, ao passar pelo evaporador, retirar calor do ambiente a ser refrigerado, após sua expansão.

3. (CEBRASP/EMAP-2018) Em um tubo capilar usado em sistemas de refrigeração, o fluido refrigerante encontra-se, na entrada, no estado sub-resfriado e, na saída, no estado correspondente a uma mistura com baixo título de vapor.

Tendo como referência esse processo, julgue o item que se segue, a respeito dos princípios termodinâmicos.

Considere que o processo em questão se realize nas seguintes condições: operação em regime permanente; processo adiabático; variação nula das energias interna e potencial; e vazão mássica na entrada e na saída do tubo capilar iguais.

Nessas condições, é correta a expressão  $h_1 + EC_1 = h_2 + EC_2$ , em que  $h$  é a entalpia específica,  $EC$  é a energia cinética do fluido refrigerante e os índices 1 e 2 se referem, respectivamente, à entrada e à saída do tubo.

**Comentário:**

O **item** está correto. Nessa questão o examinador está retratando o processo de estrangulamento. Que é um processo isentálpico no qual a entalpia do gás ou do meio permanece constante ( $h = \text{const}$ ). Durante o processo de estrangulamento, nenhum trabalho é realizado pelo sistema ( $W = 0$ ) e, geralmente, não há transferência de calor (adiabática) do ou para o sistema ( $Q = 0$ ).

Relembrando, uma forma alternativa para representar o balanço de energia de um sistema é dada pela seguinte equação:

$$\Delta EC + \Delta EP + \Delta U = Q - W$$

Como estamos retratando um processo em que há variação nula das energias internas  $\Delta U$  e potencial  $\Delta EP$  em regime permanente e irreversível a expressão  $h_1 + EC_1 = h_2 + EC_2$  é correta.

4. (CEBRASPE/FUB-2018) Com relação às máquinas térmicas, julgue o item que se segue.

Processos termodinâmicos irreversíveis são caracterizados por não haver perda de energia devido a turbulências, atrito, ou qualquer efeito dissipativo.

**Comentário:**

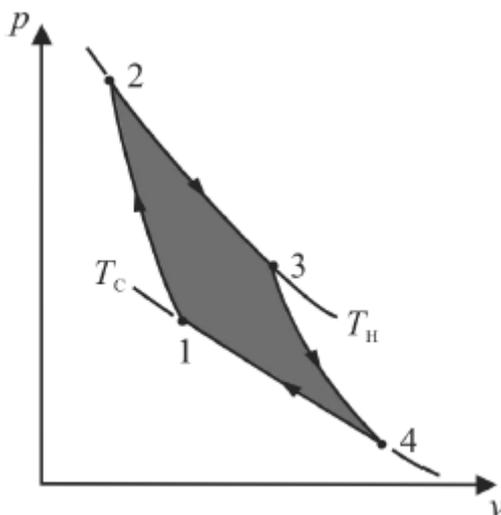
O **item** está incorreto. Processos termodinâmicos **reversíveis** são caracterizados por não haver perda de energia devido a turbulências, atrito, ou qualquer efeito dissipativo. Os processos reversíveis não ocorrem na natureza, são considerados processos ideais.



Por definição um processo reversível é um processo que pode ser invertido sem deixar nenhum vestígio no ambiente.

5. (CEBRASPE/FUB-2018) Com relação às máquinas térmicas, julgue o item que se segue.

De acordo com a figura a seguir, que ilustra um diagrama do ciclo de Carnot de um sistema pistão/cilindro, em que a pressão ( $p$ ) está representada no eixo vertical e o volume ( $v$ ), no eixo horizontal, é correto afirmar que, do estado 1 para o estado 2, o gás sofre uma compressão adiabática, e que, no estado 2, a temperatura desse gás é  $T_H$ .



Comentário:

O **item** está correto. O Ciclo de Carnot é um ciclo que descreve transformações termodinâmicas de um gás ideal. Ele é caracterizado por duas transformações isotérmicas e duas transformações adiabáticas.

Pelo diagrama acima podemos notar que há um aumento de pressão entre os estados 1 e 2, logo ocorre uma compressão sem que ocorra transferência de calor para a vizinhança (adiabática). Além disso, o processo 2-3 ocorre de maneira isotérmica à temperatura  $T_H$ , logo a temperatura no estado 2 é a mesma.

Vejam os uma melhor descrição do ciclo de Carnot.

- **Processo 1-2:** O gás no interior do conjunto sofre **compressão adiabática**, ou seja, não realiza troca de calor com o meio, até atingir o estado 2, no qual a temperatura é  $T_H$ .
- **Processo 2-3:** O conjunto cilindro-pistão é disposto em contato com o reservatório térmico com temperatura igual a  $T_H$ . Nesta etapa o gás sofre **expansão a temperatura constante** (isotérmica) e ao mesmo tempo recebe energia  $Q_H$  do reservatório térmico quente através de transferência de calor.
- **Processo 3-4:** O conjunto cilindro-pistão é novamente colocado sobre o apoio isolado enquanto o gás continua a se **expandir de maneira adiabática** até a temperatura diminuir para  $T_C$ .
- **Processo 4-1:** O conjunto é disposto em contato com o reservatório térmico frio com temperatura  $T_C$ . Nesta etapa o gás sofre **compressão isotérmica** até retornar ao seu estado

inicial enquanto descarrega energia  $Q_C$  para o reservatório frio através de transferência de calor.

**6. (CEBRASPE/FUB-2015) Nas máquinas térmicas, o estado termodinâmico da substância de trabalho é alterado por dispositivos do ciclo em questão. Com relação à substância de trabalho, julgue o item a seguir.**

É possível manter inalterada a temperatura de um fluido de trabalho por meio de interações simultâneas com a vizinhança de transferência de energia na forma de calor e trabalho.

**Comentário:**

O **item** está correto. Trata-se de uma transformação isotérmica.

**7. (CEBRASPE/FUB-2015) Nas máquinas térmicas, o estado termodinâmico da substância de trabalho é alterado por dispositivos do ciclo em questão. Com relação à substância de trabalho, julgue o item a seguir.**

A transferência de calor para um fluido de trabalho a partir de sua vizinhança permite aumentar a temperatura do fluido. Para esse fim, a parede do dispositivo deve ser adiabática.

**Comentário:**

O **item** está incorreto. A transferência de calor para um fluido de trabalho a partir de sua vizinhança permite aumentar a temperatura do fluido. Para esse fim, a parede do dispositivo **não** deve ser adiabática.

Uma transformação adiabática é aquela em que não ocorre a transferência de calor entre o fluido de trabalho e a vizinhança. Em outras palavras, na termodinâmica, uma parede adiabática não permite a transferência de calor de um lado para o outro, ou seja, não deixa o calor sair ou entrar.

**8. (CEBRASPE/FUB-2015) Nas máquinas térmicas, o estado termodinâmico da substância de trabalho é alterado por dispositivos do ciclo em questão. Com relação à substância de trabalho, julgue o item a seguir.**

A temperatura de um fluido de trabalho aumentará ao se transferir energia da vizinhança para o fluido por meio de uma parede móvel do dispositivo.

**Comentário:**

O **item** está incorreto segundo a banca. Nessa questão a banca não define qual é a forma da energia, calor ou trabalho. Contudo, por meio de uma parede móvel temos a transferência de trabalho, geralmente. Como não é dito se há também a transferência de calor ou não, acredito que a banca julgue que não podemos afirmar que a temperatura aumentará. Podemos estar falando de um processo isotérmico.

- $W > 0$ : o sistema se expande e perde energia para a vizinhança.
- $W < 0$ : o sistema se contrai e recebe energia da vizinhança.



- $Q > 0$ : a energia por calor passa da vizinhança para o sistema.
- $Q < 0$ : a energia por calor passa do sistema para a vizinhança.

No caso de uma energia predominante na forma de calor a temperatura aumentaria. Contudo, se a energia for predominantemente na forma de trabalho a temperatura poderá diminuir.

### 9. (CEBRASPE/FUB-2015) Julgue o item seguinte, acerca da Primeira Lei da Termodinâmica para sistemas e volumes de controle.

Caso um dispositivo isolado termicamente tenha paredes rígidas por onde escoam, internamente, 10 m<sup>3</sup>/h de ar, ele deve ser tratado como sistema isolado, visto que não é possível haver interações com a vizinhança na forma de calor ou trabalho.

#### Comentário:

O **item** está incorreto. Basicamente dois tipos de sistema são abordados em provas que são, sistemas fechados e volumes de controle. Um **sistema fechado** é **aquele em que apenas uma determinada matéria está em estudo**, ou seja, este sempre conterá a mesma quantidade de matéria.

Dentre os sistemas fechados existe um tipo especial, o qual **não interage com a vizinhança**, denominado **sistema isolado**. Ou seja, neste sistema não ocorre troca de energia e nem de massa com a vizinhança.

Apesar de nenhuma massa ser trocada com a vizinhança, em **sistemas fechados pode ocorrer passagem de calor e trabalho por sua fronteira**.

Em um **volume de controle** a **massa pode cruzar a fronteira**, ou seja, há fluxo de massa. Assim, neste tipo de análise estuda-se uma região delimitada por uma fronteira prescrita. Este tipo de abordagem é utilizada para avaliar dispositivos em que a massa flui como por exemplo turbinas e bombas.

### 10. (CEBRASPE/FUB-2015) Julgue o item seguinte, acerca da Primeira Lei da Termodinâmica para sistemas e volumes de controle.

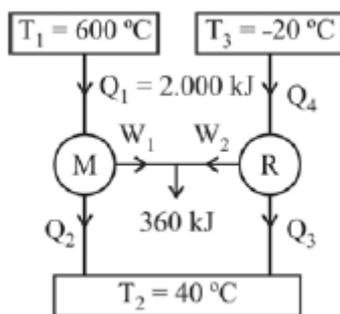
Um secador de cabelo ligado, no qual ocorre o aumento da temperatura do ar por meio de trabalho que atravessa a sua fronteira, pode ser classificado, termodinamicamente, como um volume de controle.

#### Comentário:

O **item** está correto. Em um **volume de controle** a **massa pode cruzar a fronteira**, ou seja, há fluxo de massa como em um secador de cabelo. Assim, neste tipo de análise estuda-se uma região delimitada por uma fronteira prescrita. Este tipo de abordagem é utilizada para avaliar dispositivos em que a massa flui como por exemplo turbinas e bombas.

### 11. (CEBRASPE/PF-2014)





A figura acima mostra esquematicamente a configuração de uma máquina térmica reversível combinada que opera pelo ciclo de Carnot entre 600 °C e 40 °C. O motor térmico aciona um refrigerador reversível que opera entre 40 °C e -20 °C. A energia transferida ao motor é igual a 2.000 kJ e o trabalho líquido realizado pela máquina combinada motor/refrigerador é igual a 360 kJ.

A partir dessas informações, julgue o item subsequente.

O coeficiente de performance (COP) do refrigerador é maior que 5.

#### Comentário:

O **item** está incorreto. O coeficiente de performance máxima para um ciclo de refrigeração é dado por:

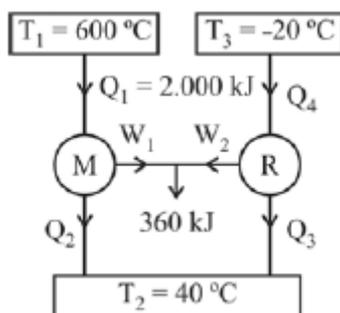
$$\beta_{m\acute{a}x} = \frac{T_C}{T_H - T_C}$$

Em que  $T_C$  e  $T_H$  são as temperaturas em Kelvin, das fontes frias e quentes, respectivamente. Substituindo os valores obtemos:

$$\beta_{m\acute{a}x} = \frac{(-20 + 273)}{(40 + 273) - (-20 + 273)} = 4,21$$

Logo, o item está incorreto, pois o COP do refrigerador é menor do que 5.

#### 12. (CEBRASPE/PF-2014)



A figura acima mostra esquematicamente a configuração de uma máquina térmica reversível combinada que opera pelo ciclo de Carnot entre 600 °C e 40 °C. O motor térmico aciona um refrigerador reversível que opera



entre 40 °C e -20 °C. A energia transferida ao motor é igual a 2.000 kJ e o trabalho líquido realizado pela máquina combinada motor/refrigerador é igual a 360 kJ.

A partir dessas informações, julgue o item subsequente.

O rendimento do referido motor é inferior a 50%.

#### Comentário:

O **item** está incorreto. O rendimento de Carnot pode ser calculado por:

$$\eta_{m\acute{a}x} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$$

Substituindo os valores do enunciado obtemos:

$$\eta_{m\acute{a}x} = 1 - \frac{(40 + 273)}{(600 + 273)} = 0,64 \text{ ou } 64\%$$

Portanto, o rendimento do referido motor é maior do que 50%.

**13. (CEBRASPE/TJ CE-2014) Considere que um pneu automotivo de 0,6 m<sup>3</sup> seja calibrado com 200 kPa (manométrico), que a temperatura do pneu e do ar seja igual a 20 °C, e que a constante do gás seja de 287 (Nm)/(kgK). Nessa hipótese, a melhor estimativa para a massa de ar, no pneu, é**

- a) 4,5 kg.
- b) 3,2 kg.
- c) 2,1 kg.
- d) 5,8 kg.
- e) 5,2 kg.

#### Comentário:

A **alternativa C** está CORRETA e é o gabarito da questão. Para resolução dessa questão devemos notar que a pressão real do pneu será a pressão atmosférica somada a pressão manométrica fornecida. Dessa forma, temos:

$$PV = mRT$$

Em que:

$$P = 200kPa + 101,3kPa = 301,3kPa$$

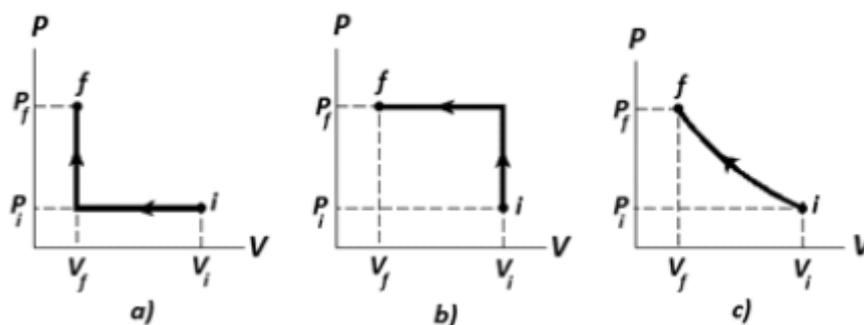


Substituindo os valores:

$$301,3k \cdot 0,6 = m \cdot 287 \cdot (20 + 273) \Rightarrow m = \frac{180,8k}{84,091k} = 2,1 \text{ kg}$$

**14. (CEBRASPE/TRT 10ª R-2013) Julgue o item subsequente, que se refere às Leis da Termodinâmica.**

Entre os três processos esquematizados nos diagramas  $PV$  (pressão *versus* volume) mostrados abaixo, referentes à compressão, do estado inicial  $i$  para o estado final  $f$ , exercida por um pistão sobre um gás contido em um cilindro, é correto afirmar que, no processo  $b$ , é realizado o maior trabalho.



**Comentário:**

O **item** está correto. O trabalho é definido pela seguinte integral.

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV$$

$$W = P \cdot \Delta V = P \cdot (V_2 - V_1)$$

Em que  $W$  é o trabalho,  $P$  é a pressão e  $\Delta V$  é a variação de volume ocorrida.

Podemos interpretar o trabalho como a área abaixo da linha do diagrama  $PV$ , assim é facilmente visível que a maior área é apresentada no diagrama  $b$ , seguidos do diagrama  $c$  e  $a$  respectivamente.

**15. (CEBRASPE/MPU-2013) A termodinâmica pode ser definida como a ciência que estuda a energia nas suas diferentes formas: térmica, mecânica, cinética, potencial, elétrica, magnética e nuclear. Acerca das diferentes formas de energia, julgue o item que se segue.**

Calor e trabalho são duas formas de energia possíveis, pelas quais a energia pode cruzar a fronteira de um sistema fechado. A quantidade de calor de um corpo depende de sua temperatura.

**Comentário:**

O **item** está incorreto. Um corpo dispõe de energia interna, que pode sofrer variação através da transferência de calor ou trabalho. O calor de um corpo não pode ser medido, pois essa é uma forma de



energia de transmissão e para realizar a medição dessa grandeza são necessários dois corpos com temperaturas distintas.

**16. (CEBRASPE/ PO-AL-2013) Com relação aos processos reversíveis e irreversíveis que afetam os ciclos termodinâmicos, julgue o item que se segue.**

O ciclo de Carnot é composto por quatro processos reversíveis, sendo dois deles isotérmicos e os demais adiabáticos. A eficiência de um ciclo de Carnot operando como refrigerador ou motor térmico entre dois reservatórios térmicos a temperaturas distintas é a maior possível.

**Comentário:**

O **item** está correto. O ciclo de Carnot não apresenta qualquer tipo de perda de energia, sendo seus processos são totalmente reversíveis. Qualquer máquina que trabalhe entre 2 reservatórios térmicos com temperaturas distintas terá rendimento inferior à máquina de Carnot devido as perdas e irreversibilidades ligadas ao processo, como por exemplo o atrito entre as partes móveis.

**17. (CEBRASPE/SLU DF-2019) A respeito dos ciclos termodinâmicos, julgue o item a seguir.**

Em um ciclo-padrão a ar Brayton, o fluido de trabalho não apresenta mudança de fase, estando sempre na fase de vapor.

**Comentário:**

O **item** está correto. Durante o ciclo, o fluido de trabalho se mantém no estado gasoso.

**18. (CEBRASPE/IFF-2018) Em um motor em ciclo Carnot, uma eficiência de 30% pode ser dobrada aumentando-se a temperatura da fonte quente em**

- a) 30%.
- b) 45%.
- c) 50%.
- d) 60%.
- e) 75%.

**Comentário:**

A **alternativa E** está CORRETA e é o gabarito da questão. Vamos encontrar a relação entre a temperatura fria e a temperatura quente para a eficiência de 30 e 60 por cento.

$$\eta = 1 - \frac{T_C}{T_H}$$



Para eficiência de 30%:

$$0,30 = 1 - \frac{T_C}{T_H}$$

$$\frac{T_C}{T_H} = 0,7$$

$$T_H \cong 1,43T_C$$

Para eficiência de 60%:

$$0,60 = 1 - \frac{T_C}{T_H}$$

$$\frac{T_C}{T_H} = 0,4$$

$$T_H = 2,5T_C$$

Agora vamos calcular a relação entre as duas temperaturas quentes.

$$\frac{T_{H(60)}}{T_{H(30)}} = \frac{2,5T_C}{1,43T_C} \cong 1,75$$

Portanto, 75% de aumento.

### 19. (CEBRASPE/PCie PE-2016)

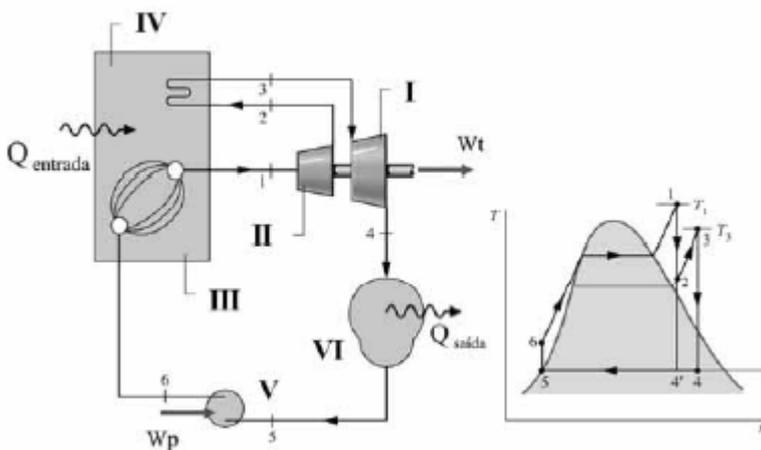


Figura A

Figura B

As figuras A e B ilustram esquematicamente um ciclo de geração de potência que usa turbinas a vapor e que mostra as transformações de temperatura (T) e entropia (s) do fluido de trabalho. A respeito desse ciclo, assinale a opção correta.

- a) Na figura A a entrada de calor para o ciclo  $Q_{\text{entrada}}$  corresponde, na figura B, às áreas abaixo das linhas 6–1 e 2–3.
- b) O trabalho líquido do ciclo é dado pela soma do trabalho gerado nos processos 1–2 e 3–4.
- c) O componente identificado por VI, na figura A, é a caldeira do ciclo.
- d) O esquema da figura A ilustra a aplicação de turbinas a vapor em ciclos Rankine com extração e regeneração.
- e) A turbina é de duplo estágio, em que I representa o estágio de alta pressão e II representa o de baixa pressão.

#### Comentário:

A **alternativa A** está CORRETA e é o gabarito da questão.

A **alternativa B** está incorreta. O trabalho líquido do ciclo é dado pela soma do trabalho gerado nos processos 1–2 e 3–4 menos o trabalho adicionado no processo 5-6.

A **alternativa C** está incorreta. O componente VI corresponde ao condensador.

A **alternativa D** está incorreta. O esquema da figura A ilustra a aplicação de turbinas a vapor em ciclos Rankine com reaquecimento.

A **alternativa E** está incorreta. A turbina é de duplo estágio, em que I representa o estágio de baixa pressão e II representa o de alta pressão.

#### 20. (CEBRASPE/FUB-2015) Com referência a ciclos termodinâmicos, julgue o próximo item.

O ciclo Rankine opera na entrada da turbina, com a substância de trabalho, no estado gasoso, como a água e alguns hidrocarbonetos, ao passo que, na entrada da bomba hidráulica a substância de trabalho está no estado líquido.

#### Comentário:

O **item** está correto. O fluido sai da caldeira no estado de vapor saturado, ao passar pela turbina e em seguida o condensador, o vapor muda seu estado para o líquido. Após essa mudança de estado, o fluido passa pela bomba hidráulica, saindo no estado de líquido comprimido e entrando na caldeira novamente para ser transformado em vapor e reiniciar o ciclo.

#### 21. (CEBRASPE/FUB-2015) Com referência a ciclos termodinâmicos, julgue o próximo item.

Ciclos de turbina a gás podem operar de forma eficiente com hélio, como fluido de trabalho, e com energia solar.

#### Comentário:



O **item** está correto. Nos modelos mais simples de motor Stirling o gás utilizado é o ar, já nos modelos de alta potência e rendimento gás hélio ou hidrogênio podem ser utilizados. Diferentemente dos motores de combustão interna o fluido de trabalho nunca deixa o interior do motor, logo o **motor Stirling é uma máquina de ciclo fechado**.

As vantagens do motor Stirling são:

- Menor poluição comparado com motores ciclo Diesel e ciclo Otto.
- Silencioso com baixa vibração.
- Multi-combustível (gasolina, etanol, metanol, GLP, Energia Solar, biogás...)

**22. (CEBRASE/PF-2014) Em relação à classificação e aos ciclos de potência que utilizam turbinas a vapor, julgue o item que se segue.**

O ciclo termodinâmico de Brayton é utilizado na análise da geração de potência por meio de turbina a vapor.

**Comentário:**

O **item** está incorreto. O ciclo Brayton é utilizado na análise da geração de potência por meio de turbinas a gás.

**23. (CEBRASE/PF-2014) Em relação à classificação e aos ciclos de potência que utilizam turbinas a vapor, julgue o item que se segue.**

Em um ciclo ideal de turbina a vapor, a geração de potência ocorre em um processo de expansão à entropia constante desde o estado de vapor de água saturado, na entrada da turbina, até o estado de mistura vapor/líquido, na saída da turbina.

**Comentário:**

O **item** está correto. Vejamos o esquema dos processos do ciclo Rankine ideal.

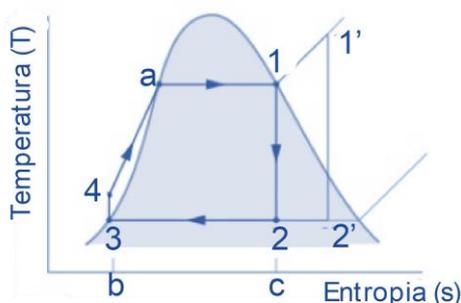


Diagrama T-s de um ciclo Rankine idealizado

Os processos reversíveis internos que ocorrem neste ciclo ideal são:

- **Processo 1-2:** Nesta etapa ocorre expansão isentrópica do fluido de trabalho por meio da turbina como vapor saturado no estágio, 1 até a pressão do condensador.
- **Processo 2-3:** Transferência de calor do fluido de trabalho sem variação de pressão através do condensador até atingir o estado de líquido saturado em 3.
- **Processo 3-4:** Nesta etapa ocorre compressão isentrópica através da bomba até se alcançar o estágio 4 como líquido comprimido.
- **Processo 4-1:** Ocorre a transferência de calor para o fluido de trabalho onde este escoa a pressão constante por meio da caldeira para completar o ciclo.

Cabe destacar que o **ciclo de Rankine permite também o superaquecimento do vapor** ocorrendo o ciclo  $1'-2'-3-4-1'$ .

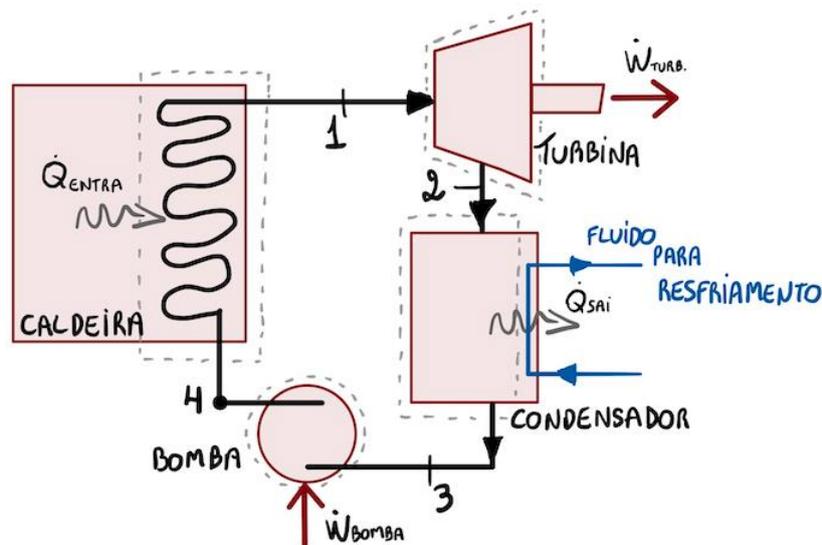
Devido à redução de pressão no processo 1-2 parte do vapor saturado condensa, assim resultando numa mistura vapor/líquido na entrada do condensador.

**24. (CEBRASE/PF-2014) Em relação à classificação e aos ciclos de potência que utilizam turbinas a vapor, julgue o item que se segue.**

Em um ciclo de turbina a vapor ideal, o rendimento é máximo, pois, em condições ideais, a única entrada de energia requerida é a necessária ao bombeamento do condensado para que circule o fluido de trabalho, de modo a elevar sua pressão.

**Comentário:**

O **item** está incorreto. Veja abaixo um esquema do funcionamento de um ciclo Rankine.



Há duas entradas de energia no ciclo, sendo uma de trabalho na bomba e outra de calor na caldeira.

**25. (CEBRASPE/UNIPAMPA-2016) Com relação a turbinas a vapor, julgue o item a seguir.**

Em plantas em que o vapor d'água é pressurizado por meio de compressores axiais, deve-se considerar a eficiência isentrópica do vapor no cálculo da potência do motor elétrico que aciona o compressor.

### Comentário:

O **item** está incorreto. Conceituando, o parâmetro termodinâmico Eficiência Isentrópica expressa quantitativamente o quão eficiente um dispositivo real (irreversível) se aproxima de um dispositivo ideal (reversível).

Faria sentido considerá-la no cálculo da eficiência do compressor. Em contrapartida, a banca deixa a entender que a eficiência isentrópica deve ser usada em um motor elétrico. Contudo, ela é utilizada para turbinas, compressores e bocais.

Como complemento, temos que um **processo isentrópico** é reversível e livre de perdas, sendo assim, caso o cálculo de potência do motor seja feito dessa forma, o sistema apresentará potência inferior à requerida no ciclo real à vapor.

**26. (NUCEPE-UEPI/PC-PI-2018) O pneu de um automóvel foi regulado de forma a manter uma pressão interna de 24 libras-força por polegada quadrada, a uma temperatura de 21 °C. Durante o movimento do automóvel, no entanto, a temperatura do pneu elevou-se a 70 °C. Escolha a alternativa que determina a pressão interna correspondente, em libras-força por polegada quadrada. Despreze a variação de volume do pneu e assumo o ar como gás ideal.**

- a) 24 psi.
- b) 26 psi.
- c) 30 psi.
- d) 32 psi.
- e) 28 psi.

### Comentário:

Nesta questão temos a ocorrência de um processo isovolumétrico onde o volume nos estados 1 e 2 é o mesmo. Assim, temos que:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

Lembre-se que a temperatura deve ser convertida para Kelvin sendo  $0^\circ = 273K$ . Vejamos:

$$\begin{aligned} T_1 &= 21^\circ C + 273 = 294K \\ T_2 &= 70^\circ C + 273 = 343K \end{aligned}$$



Convertidas as temperaturas, podemos realizar a substituição dos valores conhecido na equação:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \Rightarrow \frac{24\text{psi}}{294} = \frac{P_2}{343} \Rightarrow P_2 = 28\text{psi}$$

Logo, a **alternativa E** está CORRETA e é o gabarito da questão.

**27. (IBFC/PCPR-2017) Analise as afirmativas que seguem tendo como base o tema “termodinâmica”**

**I. É impossível construir uma máquina térmica que, operando em ciclo, extraia calor de uma fonte e o transforme integralmente em trabalho.**

**II. Em um sistema fechado, não há troca de massa com a vizinhança, mas é permitida passagem de calor e trabalho por sua fronteira.**

**III. Sistema isolado é um sistema que não troca energia nem massa com a sua vizinhança.**

**Está correto o que se afirma em:**

- a) I e II, apenas
- b) II e III, apenas
- c) I e III, apenas
- d) I, II e III
- e) III, apenas

**Comentário:**

Vamos analisar cada um dos itens:

O item I está correto. Apesar dos avanços tecnológicos não é possível a construção de uma máquina térmica 100% eficiente, pois sempre ocorrem perdas durante o processo.

O item II está correto. **Sistema fechado** é **aquele em que apenas uma determinada matéria está em estudo**, ou seja, este sempre conterà a mesma quantidade de matéria, ou seja, não há troca de massa com a vizinhança, apesar de ocorrer passagem de calor e trabalho por sua fronteira.

O item III está correto. Dentre os sistemas fechados existe um tipo especial, o qual **não interage com a vizinhança**, denominado **sistema isolado**

Logo a **alternativa D** está CORRETA e é o gabarito da questão.

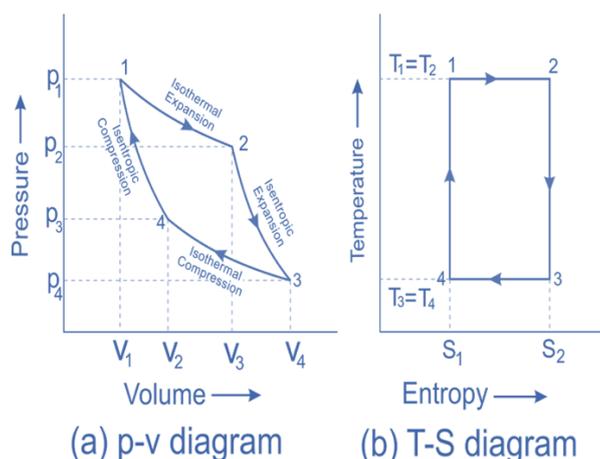
**28. (CESPE/PCie PE-2016) Acerca do desempenho energético de um ciclo de refrigeração por compressão a vapor de Carnot, assinale a opção correta.**



- a) O processo de expansão ocorre com entropia constante.
- b) Os processos de transferência de calor nesse ciclo ocorrem sem mudança de fase e com entalpia constante.
- c) O coeficiente de performance do ciclo aumentará caso seja mantida constante a temperatura de evaporação e seja aumentada a temperatura de condensação.
- d) O processo de compressão ocorre com o aumento da entropia do refrigerante entre a sucção e a descarga do compressor.
- e) O refrigerante, na sucção do compressor, encontra-se no estado de vapor saturado.

**Comentário:**

A **alternativa A** está CORRETA e é o gabarito da questão, pois no processo de expansão no ciclo de Carnot (2-3) não ocorre variação de entropia. Vejamos os diagramas P-V e T-s para o ciclo.



A **alternativa B** está incorreta. Em pelo menos um dos processos haverá mudança de fases e, além disso, os processos são isotérmicos.

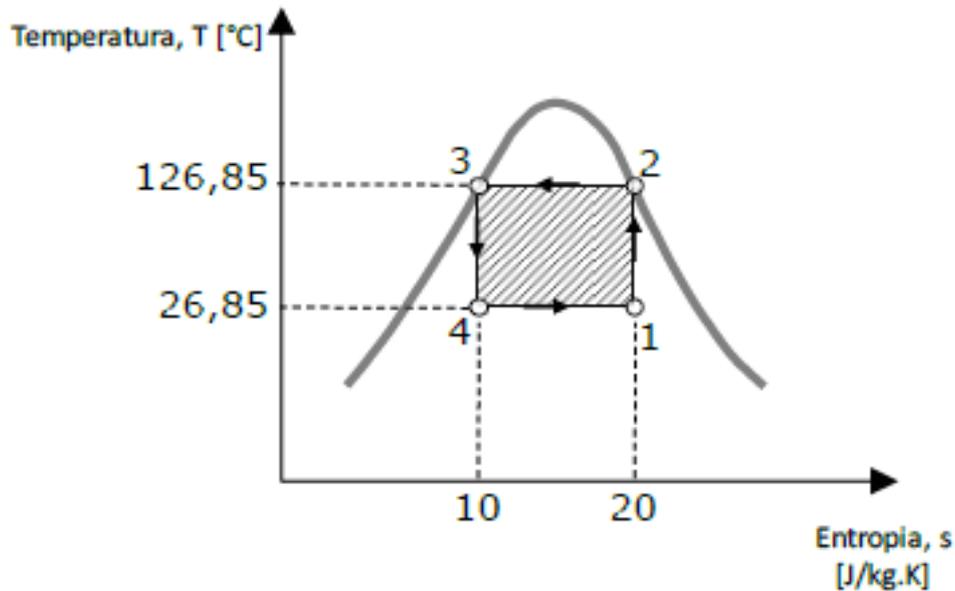
A **alternativa C** está incorreta. O COP aumentará quando a diferença de temperatura diminuir.

A **alternativa D** está incorreta. O processo de compressão é isentrópico.

A **alternativa E** está incorreta. Neste caso, a sucção do compressor pode conter vapor saturado ou uma mistura de vapor e líquido saturado.

**29. (IADES/PC DF-2016) A figura apresentada indica um ciclo de refrigeração de Carnot.**





A esse respeito, assinale a alternativa que corresponde aos valores corretos do coeficiente de performance ou eficácia (COP) e do trabalho específico de compressão.

- a) COP = 3,000 e  $w = 1000$  J/kg
- b) COP = 0,270 e  $w = 1000$  J/kg
- c) COP = 2,000 e  $w = 100$  J/kg
- d) COP = 1,500 e  $w = 200$  J/kg
- e) COP = 2,000 e  $w = 150$  J/kg

#### Comentário:

Por se tratar de um ciclo de refrigeração de Carnot temos que neste tipo de sistema os seguintes processos ocorrem:

- **Processo 4-1:** ocorre expansão isotérmica do gás a temperatura  $T_C$  ao mesmo tempo que recebe energia do reservatório frio.
- **Processo 1-2:** ocorre compressão adiabática do gás até se atingir a temperatura  $T_H$ .
- **Processo 2-3:** ocorre compressão isotérmica do gás a temperatura  $T_H$  ao mesmo tempo que ocorre descarga de energia para o reservatório térmico quente.
- **Processo 3-4:** ocorre expansão adiabática do gás até sua temperatura retornar para  $T_C$ , em seu estado inicial.

O coeficiente de desempenho do ciclo de refrigeração pode ser calculado por:

$$\beta_{m\acute{a}x} = \frac{T_C}{T_H - T_C} = \frac{26,85 + 273,15}{(126,85 + 273,15) - (26,85 + 273,15)} = \frac{300}{100} = 3$$



Lembre-se que devemos trabalhar com a temperatura em Kelvin.

O trabalho do compressor ( $W_c$ ) será igual a troca de calor no condensador ( $Q_{sai}$ ) subtraído pela troca de calor no evaporador ( $Q_{entra}$ ). Vejamos:

$$Q_{sai} = T_H(s_2 - s_1) = (126,85 + 273,15) \cdot (20 - 10) = 4000 \text{ J/kg}$$

$$Q_{entra} = T_C(s_2 - s_1) = (26,85 + 273,15) \cdot (20 - 10) = 3000 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$W_c = Q_{sai} - Q_{entra} = 4000 - 3000 = 1000 \text{ J/kg}$$

Logo, a **alternativa A** está CORRETA e é o gabarito da questão.

**30. (IBFC/PC RJ-2013) Toda máquina térmica funciona em ciclos, ou seja, executa etapas que se repetem periodicamente, Portanto, de acordo com a segunda lei da termodinâmica, é correta seguinte afirmativa:**

- a) nenhuma máquina térmica pode retirar calor de uma fonte e transformá-lo integralmente em trabalho.
- b) as turbinas a vapor e os motores Wankel podem retirar calor de uma fonte e transformá-lo integralmente em trabalho.
- c) apenas as máquinas térmicas alternativas de combustão interna podem retirar calor de uma fonte e transformá-lo integralmente em trabalho.
- d) qualquer máquina térmica pode retirar calor de um fonte e transformá-lo integralmente em trabalho.
- e) somente as turbinas a gás podem retirar calor de uma fonte e transformá-lo integralmente em trabalho.

#### Comentário:

A **alternativa A** está CORRETA e é o gabarito da questão, pois não existem máquinas térmicas reais que apresentem um desempenho ideal. Sempre haverá algum tipo de perdas nos processos de um ciclo pelo qual uma máquina térmica trabalhe.

As **alternativas B, C, D e E** estão incorretas. Devido ao fato de até hoje não haver uma máquina capaz de realizar um ciclo com todos os processos de maneira reversíveis (ideais).

**31. (IBFC/PC RJ-2013) Suponha que um motor elétrico transforme integralmente 25J de energia elétrica em apenas duas modalidades de energia: a mecânica e a térmica. De acordo com a 1ª lei da termodinâmica, é correta a seguinte afirmação:**

- a) a soma das energias mecânicas e térmica é menor que 25J.
- b) a energia mecânica sempre será maior que a energia térmica.



- c) essa transformação não pode ser realizada.
- d) a soma das energias mecânicas e térmica vale 25J.
- e) ambas as energias, mecânicas e térmica, não se somam.

**Comentário:**

A **lei de conservação de energia** ou primeira lei da termodinâmica é utilizada para relacionar as mudanças de estados identificadas em um sistema com as respectivas quantidades de energia, na forma de trabalho e calor, que são transferidas durante o processo. Assim podemos dizer que as únicas maneiras para variar a energia em um sistema fechado são por meio da transferência de energia por meio de trabalho e calor e o aspecto fundamental da 1ª lei da termodinâmica é que a **energia se conserva**.

Desta forma, a **alternativa D** está CORRETA e é o gabarito da questão, uma vez que, de maneira integral 25 J de energia elétrica será convertida em 25 J de energia dividida entre energia mecânica e térmica.

**32. (IBFC/PC RJ-2013) Uma tabela fornece para cada par de valores de temperaturas e de pressão de saturação do vapor d'água, valores de volume específico, energia interna, entalpia e entropia. Portanto, é válida a afirmação de que esses quatro últimos valores são, para o vapor d'água,**

- a) condições de equilíbrio.
- b) propriedades termodinâmicas.
- c) coeficientes de rendimento.
- d) fatores de absorção adiabática.
- e) atributos para transmissão de calor.

**Comentário:**

A **alternativa B** está CORRETA e é o gabarito da questão. Está é uma questão bem simples em que devemos saber que volume específico, energia interna, entalpia e entropia são propriedades termodinâmicas que podem ser obtidas através de tabelas e do conhecimento de valores de temperatura e de pressão de saturação do fluido.

**33. (FGV/PC RJ-2009) A respeito de fenômenos termodinâmicos, analise as afirmativas a seguir:**

- I. A pressão manométrica é a magnitude do resultado positivo da diferença entre a pressão absoluta medida pelo dispositivo e a pressão atmosférica local externa ao dispositivo de medida em um sistema.
- II. As propriedades que são obtidas pela soma de seus valores das partes, em que o sistema é dividido, são denominadas extensivas, e as que não podem ser adicionadas, nesse mesmo sentido, são chamadas de intensivas.



III. Ciclo termodinâmico é definido como uma sequência de processos que se inicia e termina em um mesmo estado, em que ao final do ciclo todas as propriedades devem apresentar os mesmos valores que elas possuem no início.

Assinale:

- a) se somente a afirmativa I estiver correta.
- b) se somente as afirmativas I e II estiverem corretas.
- c) se somente as afirmativas I e III estiverem corretas.
- d) se somente as afirmativas II e III estiverem corretas.
- e) se todas as afirmativas estiverem corretas.

**Comentário:**

Caro(a) aluno(a), essa é uma questão para aprendizado e revisão, pois todas as afirmativas são verdadeiras. Leia, releia os conceitos e memorize-os para sua prova.

Portanto, a **alternativa E** está CORRETA e é o gabarito da questão.

**34. (IBFC/PC RJ-2013) Pense no ciclo ideal para uma unidade motora simples a vapor conforme apresentado na tabela a seguir.**

Componente	Processo
bomba	bombeamento adiabático reversível
caldeira	troca de calor a pressão constante
turbina	expansão adiabática reversível
condensador	troca de calor a pressão constante

Por conseguinte, pode-se concluir que a unidade motora representa o ciclo de:

- a) Ericsson.
- b) Carnot.
- c) Atkinson.
- d) Rankine.
- e) Miller.

**Comentário:**

A **alternativa D** está CORRETA e é o gabarito da questão.



O ciclo de Rankine é representado com um subsistema de uma usina de produção de vapor composto por uma turbina, condensador, bomba e caldeira.

Os processos reversíveis internos que ocorrem neste ciclo ideal são:

- **Processo 1-2:** Nesta etapa ocorre expansão isentrópica (adiabática reversível) do fluido de trabalho por meio da turbina como vapor saturado no estágio, 1 até a pressão do condensador.
- **Processo 2-3:** Transferência de calor do fluido de trabalho sem variação de pressão (isobárica) através do condensador até atingir o estado de líquido saturado em 3.
- **Processo 3-4:** Nesta etapa ocorre compressão isentrópica (adiabática reversível) através da bomba até se alcançar o estágio 4 como líquido comprimido.
- **Processo 4-1:** Ocorre a transferência de calor para o fluido de trabalho onde este escoar a pressão constante (isobárica) por meio da caldeira para completar o ciclo.

**35. (IBFC/PC RJ-2013) O ciclo-padrão de ar Brayton é o ciclo ideal para uma máquina térmica de ciclo aberto que utiliza um processo de combustão interna ou e ciclo fechado que utiliza processos de troca de calor. Pode-se, então, concluir, que essa máquina térmica é um exemplo de:**

- a) turbina a vapor.
- b) motor de ignição por compressão.
- c) turbina a gás simples.
- d) motor Diesel superalimentado.
- e) motor do ciclo Otto.

#### Comentário:

O ciclo de ar-padrão Brayton é uma aproximação dos processos que acontecem nas turbinas a gás, em outras palavras, é o ciclo ideal dos motores de turbina a gás. Portanto, a **alternativa C** está CORRETA e é o gabarito da questão.

A **alternativa A** está incorreta. Turbina a vapor é uma máquina térmica que aproveita a energia térmica de vapor sobre pressão e converte em trabalho mecânico.

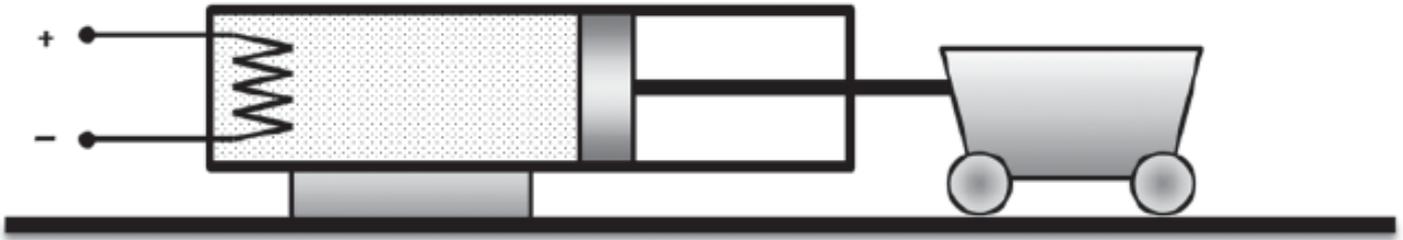
As **alternativas B e D** estão incorretas. O motor de ignição por compressão são os motores que trabalham a partir do ciclo Diesel.

A **alternativa E** está incorreta. Os motores que atuam através do ciclo Otto são aqueles comumente utilizados nos automóveis que atuam por ignição via centelha.

**36. (CESGRANRIO/TRANSPETRO-2018) Um projetista precisa saber qual a quantidade de calor fornecida a um sistema, mostrado na Figura abaixo, para calcular o valor da resistência elétrica.**



Tal sistema é constituído por um pistão atuador a gás, com paredes adiabáticas, acionado por um circuito elétrico, e aparafusado em uma base,



A área do pistão é  $20 \text{ cm}^2$ , e o carrinho, que é rigidamente ligado ao pistão, é deslocado sem oferecer qualquer resistência por  $15 \text{ cm}$  para a direita, quando o gás, perfeito por hipótese, localizado à esquerda do pistão, é aquecido. Durante o deslocamento, a pressão do gás é constante e igual a  $250 \text{ kPa}$ , e a variação de energia interna do gás é igual a  $18 \text{ J}$ . Nesse caso, a quantidade de calor, em joules, fornecida pela resistência é

- a) 75
- b) 93
- c) 55.500
- d) 75.000
- e) 93.000

#### Comentário:

Para resolvermos esta questão precisamos conhecer os conceitos de trabalho na termodinâmica e a primeira lei que trata da conservação de energia. Primeiramente podemos calcular o trabalho realizado a uma pressão constante através da variação do volume. Vejamos:

$$W = P \cdot \Delta V \quad \Rightarrow \quad W = 250000[\text{Pa}] \cdot (0,002[\text{m}^2] \cdot 0,15[\text{m}]) = 75\text{J}$$

Note que a banca nos dá como alternativa A esta resposta, contudo, a variação de energia interna deve ser levada em consideração através da lei de conservação de energia e como não temos variação de energia cinética e potencial temos que:

$$\Delta E_C + \Delta E_P + \Delta U = Q - W$$

$$18[\text{J}] = Q - 75(\text{J}) \quad \Rightarrow \quad Q = 93[\text{J}]$$

Logo, a **alternativa B** está correta e é o gabarito da questão. Note que uma correta conversão de unidades é importante, pois as alternativas incorretas possuem grandezas propositalmente pensadas para induzir o candidato ao erro.



**37. (CESGRANRIO/PETROBRAS-2015) Pelo princípio da conservação da energia, sabe-se que a variação líquida da energia total de um sistema durante um processo é igual à diferença entre a energia total que entra e a energia total que sai do sistema durante esse processo. Nos sistemas estacionários, a variação da energia total corresponde à(ao):**

- a) variação da energia cinética
- b) variação da energia potencial
- c) variação da energia interna
- d) somatório da variação da energia cinética com a variação da energia interna
- e) somatório da variação da energia cinética com a variação da energia potencial

**Comentário:**

Através do conceito da 1ª Lei da termodinâmica podemos resolver esta questão. Uma vez que conhecemos que a variação de energia total ( $\Delta E$ ) é igual a soma das variações de energia cinética, potencial e interna, podemos escrever a equação de conservação de energia:

$$\Delta E = Q - W \quad \Rightarrow \quad \Delta EC + \Delta EP + \Delta U = Q - W$$

Como o sistema é estacionário, conforme o enunciado, não haverá movimento, logo, a variação de energia cinética e potencial serão iguais a zero. Assim temos que:

$$\Delta EC + \Delta EP + \Delta U = Q - W \quad \Rightarrow \quad \Delta U = Q - W$$

Portanto, a **alternativa C** está CORRETA e é o gabarito da questão, pois a variação de energia total em sistemas estacionários será igual a variação de energia interna.

**38. (CESGRANRIO/TRANPETRO-2018) Para a hipótese de gás ideal, a variação da energia interna específica e a variação da entalpia específica, ambas em função da temperatura, recebem os nomes, respectivamente, de**

- a) calor específico a volume constante e calor específico a pressão constante
- b) calor específico a pressão constante e calor específico a volume constante
- c) entalpia específica a volume constante e energia interna específica a pressão constante
- d) entalpia específica a pressão constante e entropia específica a volume constante
- e) entropia específica a pressão constante e entropia específica a volume constante

**Comentário:**



Ao se conhecer a equação do estado de um gás ideal e através da relação da energia interna com o calor específico a volume constante e da entalpia com o calor específico a pressão constante as seguintes expressões matemáticas podem ser obtidas para se calcular a variação de energia interna  $\Delta U$  e a variação de entalpia  $\Delta H$ :

$$\Delta U = \int_{T_1}^{T_2} C_v dT \quad e \quad \Delta H = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$$

Ao se analisar as duas equações acima podemos notar que o calor específico a volume constante ( $C_v$ ) pode ser obtido (denominado) como a variação de energia interna em função da temperatura. Da mesma forma, o calor específico a pressão constante ( $C_p$ ) pode ser obtido (chamado) como a variação da entalpia em função da temperatura.

Logo, a **alternativa A** está CORRETA e é o gabarito da questão.

**39. (CESGRANRIO/PETROBRAS - 2018) Um motor térmico operando segundo um ciclo de Carnot possui rendimento de 45%.**

**Se a temperatura da fonte quente é de 60 °C, qual é o valor da temperatura da fonte fria desse sistema, em °C?**

- a) -89,92
- b) -33,00
- c) -5,65
- d) 15,75
- e) 33,00

**Comentário:**

Nesta questão além de a banca nos fornecer a temperatura em Celsius devemos encontrar a temperatura da fonte fria  $T_C$  também em Celsius. Tome cuidado para não utilizar o rendimento em percentual, pois este deve ser usado como 0,45 e, mais uma vez, lembre-se que a escala de temperatura para calcular rendimento de um ciclo de potência de Carnot deve ser sempre Kelvin. Vamos a resolução:

$$\eta_{m\acute{a}x} = 1 - \frac{T_C}{T_H} \Rightarrow T_C = T_H(1 - \eta_{m\acute{a}x})$$

$$T_H = 60 + 273 = 333K$$

$$T_C = T_H(1 - \eta_{m\acute{a}x}) = 333(1 - 0,45) = 183,5K$$

Convertendo a temperatura da fonte fria para Celsius temos que:



$$T_c [^{\circ}C] = T_c - 273 = 183,5 - 273 = -89,5 ^{\circ}C$$

Portanto, a **alternativa A** está CORRETA e é o gabarito da questão.

**40. (CESGRANRIO/PETROBRAS-2018)** Uma unidade motora funciona segundo um ciclo Rankine que utiliza vapor d'água com fluido de trabalho. O vapor deixa a caldeira como vapor saturado. Sabe-se que o calor rejeitado pelo fluido de trabalho em escoamento é de 2.100 kJ/kg, enquanto o calor trocado na caldeira e o trabalho na turbina são iguais a 2.800 kJ/kg e 800 kJ/g, respectivamente.

Qual é o valor do rendimento térmico do ciclo?

- a) 25%
- b) 45%
- c) 62%
- d) 71%
- e) 75%

**Comentário:**

Sabendo-se que a eficiência térmica indica a quantidade de energia que é fornecida para o fluido de trabalho que atravessa a caldeira e na sequência é convertida em trabalho líquido na saída e que o trabalho líquido na saída é idêntico ao calor líquido na entrada, desta maneira podemos representar o rendimento térmico do ciclo Rankine pela seguinte equação:

$$\eta = 1 - \frac{\dot{Q}_{sai}/\dot{m}}{\dot{Q}_{entra}/\dot{m}}$$

Substituindo-se pelos valores fornecidos no enunciado temos que:

$$\eta = 1 - \frac{\dot{Q}_{sai}/\dot{m}}{\dot{Q}_{entra}/\dot{m}} = 1 - \frac{2100}{2800} = 0,25 \text{ ou } 25\%$$

Portanto, a **alternativa A** está CORRETA e é o gabarito da questão.

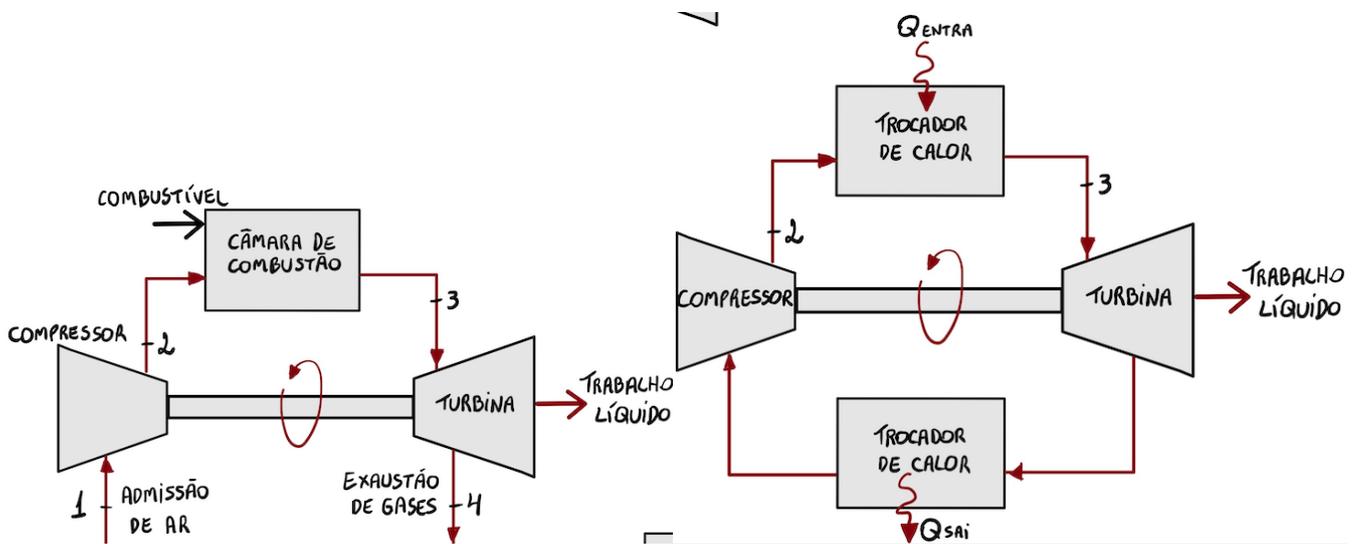
**41. (CESGRANRIO/TRANSPETRO - 2018)** O ciclo ideal usado para modelar a turbina a gás é o ciclo Brayton. A turbina a gás pode operar em um ciclo aberto ou em um ciclo fechado. Uma diferença entre o ciclo aberto e o fechado é que nesse último, há a presença de um componente adicional, ou seja, de um(a.)



- a) compressor
- b) trocador de calor
- c) bomba
- d) turbina
- e) válvula de expansão

**Comentário:**

As imagens abaixo representam um ciclo aberto e um ciclo fechado.



Note que o componente adicional no ciclo fechado é um trocador de calor. Logo, a **alternativa B** está CORRETA e é o gabarito da questão.

**42. (CESGRANRIO/TRANSPETRO-2018) Durante o ensaio de um motor de combustão interna, a média das temperaturas máximas de combustão e a média das temperaturas máximas de escape registradas são, respectivamente, 2.100°C e 750°C.**

O valor máximo da eficiência térmica, em porcentagem, de tal motor não ultrapassa

- a) 35,7
- b) 43,1
- c) 56,9
- d) 64,3
- e) 75,8



### Comentário:

Uma maneira alternativa para o cálculo do rendimento se dá através das temperaturas em  $T_1$  e  $T_2$  que são a temperatura de escape e a temperatura de combustão, respectivamente.

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

Lembre-se, caro estrategista, que as temperaturas devem ser utilizadas na escala Kelvin. Assim temos que:

$$\eta = 1 - \frac{(750 + 273)}{(2100 + 273)} = 0,569 = 56,9\%$$

Logo, a **alternativa C** está CORRETA e é o gabarito da questão.

**43. (CESGRANRIO/PETROBRAS - 2018) Uma característica importante do ciclo Brayton é a quantidade de trabalho necessário no compressor, comparado ao trabalho da turbina. O compressor pode necessitar de até, no máximo, x % da potência desenvolvida na turbina, sendo que x corresponde a**

- a) 20%
- b) 35%
- c) 60%
- d) 80%
- e) 95%

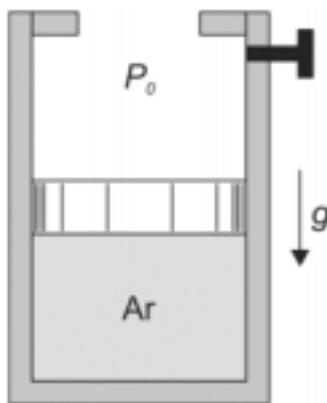
### Comentário:

Como o volume específico do gás que escoar pelo compressor é muito maior do que o líquido que passa por uma bomba de um ciclo de potência a vapor por exemplo, a quantidade de trabalho necessário no compressor, comparado ao trabalho da turbina varia entre 40% a 80%.

Em outras palavras, compressor pode necessitar de até, no máximo, 80% da potência desenvolvida na turbina. Portanto, a **alternativa D** está CORRETA e é o gabarito da questão.

**44. (FCC/SABESP-2018) O conjunto cilindro-pistão mostrado na figura abaixo contém ar (admita como gás perfeito) a 200 kPa e 600 K. O ar é expandido num processo a pressão constante até que o volume se torne igual ao dobro do inicial (estado 2).**





Nesse ponto, o pistão é travado com um pino. A temperatura do ar no estado 2 é

- a) 120 K.
- b) 600 K.
- c) 300 K.
- d) 450 K.
- e) 1200 K.

**Comentário:**

Prezado aluno (a), essa questão trata da termodinâmica de um gás ideal que sofre expansão em um processo isobárico ou a pressão constante. Assim conhecendo a equação de estado de um gás ideal podemos determinar a temperatura do ar no estado 2. Vejamos:

$$PV = RT \Rightarrow \frac{P_1 V_1}{T_1} = R \Rightarrow \frac{P_2 V_2}{T_2} = R \Rightarrow \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

Como o processo se dá a pressão constante e o volume no estado 2 é o dobro do estado 1 temos que:

$$\frac{V_2}{T_2} = \frac{2V_1}{T_1} \Rightarrow T_2 = 2T_1 \Rightarrow T_2 = 2.600 = 1200K$$

Logo, a **alternativa E** está CORRETA e é o gabarito da questão.

**45. (FCC/EMAE - 2018) Uma usina hipotética geradora de energia elétrica tem como característica a geração de energia pelos processos hidrelétrico e termelétrico, mas não simultaneamente. Por causa da natureza da geração hidrelétrica, a usina foi construída próxima de um rio.**

A geração termelétrica só entra em operação em períodos de escassez de água na represa usada para movimentar as turbinas dos geradores ou em períodos de manutenção dos equipamentos da hidrelétrica.



Os geradores termelétricos operam a partir do calor produzido pela queima de carvão mineral. Na sala de geradores termelétricos, há um sistema de ventilação forçada que substitui equipamentos de ar condicionado, por conta de um melhor aproveitamento da energia consumida no local, e cuja função é manter a temperatura ambiente próxima de 23°C.

Um dos ambientes da usina está sendo criado para acomodar uma guilhotina elétrica a ser usada para corte de placas de cobre de um sistema de ionização usado em partes da planta industrial para tratamento da água, antes de retorná-la ao leito do rio.

O diagrama unifilar da iluminação da sala onde ficará a guilhotina está ilustrado na Figura I e a placa de especificações do motor da guilhotina está ilustrada na Figura II.

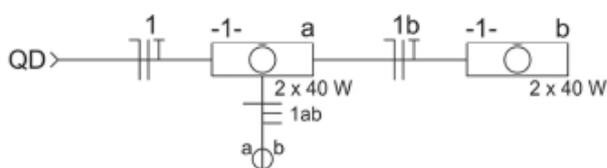


Figura I

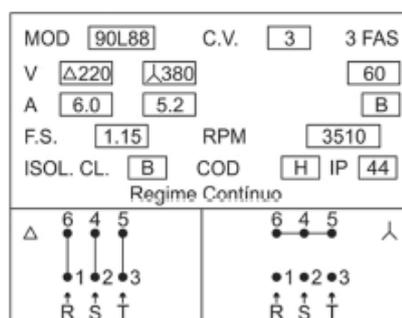


Figura II

Uma das etapas da geração termelétrica dessa usina é composta por um sistema que executa uma transformação isotérmica.

Considerando as condições de pressão  $P$ , temperatura  $T$  e volume  $V$ , tal transformação é caracterizada pela expressão

- a)  $P_1/T_1 = P_2/T_2 = P_3/T_3 = \dots = P_n/T_n = \text{constante}$ .
- b)  $V_1/T_1 = V_2/T_2 = V_3/T_3 = \dots = V_n/T_n = \text{constante}$ .
- c)  $P_1/T_1 = P_2/T_2 = P_3/T_3 = \dots = P_n/T_n = \text{zero}$ .
- d)  $P_1.V_1 = P_2.V_2 = P_3.V_3 = \dots = P_n.V_n = \text{constante}$ .
- e)  $P_1.T_1 = P_2.T_2 = P_3.T_3 = \dots = P_n.T_n = \text{constante}$ .

#### Comentário:

Prezado aluno (a), este é o típico modelo de questão em que a banca traz um caminhão de informações para apenas confundir a cabeça do candidato. Quando você se deparar com este tipo de questão, com longo enunciado e que aborde termos que você não está acostumado, desconfie que muita coisa que está dito não lhe servirá para resolver a questão.



Busque sempre termos chaves no enunciado e passe o olho sobre as alternativas para tentar imaginar sobre o que a questão trata. Analisando as alternativas notamos que está relacionada com equação de estado de gases ideais e o trecho chave do enunciado é “Transformação Isotérmica”.

Se você percebeu isto ao ler a questão é porque você conhece a equação que relaciona dois ou mais estágios de um processo que o gás pode sofrer. Quando o processo for a temperatura constante ou isotérmico (Lei de Boyle) temos que:

$$P_1V_1 = P_2V_2 = P_3V_3 \dots = \text{constante}$$

Logo, a **alternativa D** está CORRETA e é o gabarito da questão.

#### 46. (IBFC/IDAM-2019) Leia o texto a seguir (adaptado) a respeito do conceito de Entalpia na Termodinâmica:

“Em diversas análises termodinâmicas, a soma \_\_\_\_\_ com o produto \_\_\_\_\_ pelo \_\_\_\_\_ se faz presente. À esta combinação, podemos dar o nome de Entalpia, e um símbolo específico H” (SHAPIRO; MORAN, 2009)

Assinale a alternativa que preenche correta e respectivamente as lacunas:

- a) da energia interna “U” / do calor específico “c” / volume “V”
- b) da energia interna “U” / da pressão “p” / volume “V”
- c) da massa “m” / da temperatura “T” / calor específico “c”
- d) da entropia “s” / da temperatura “T” / calor específico “c”

#### Comentário:

Está é uma questão simples em que devemos conhecer o conceito de entalpia e a fórmula para o seu cálculo.

A entalpia é a energia contida em uma substância em que a variação de entalpia indica a quantidade de energia que foi liberada ou absorvida durante o processo. A fórmula utilizada para o calcula da entalpia H é:

$$H = U + PV$$

Logo, a entalpia, é dada pela soma da energia interna U com o produto da pressão P e o volume V. Portanto, a **alternativa B** está CORRETA e é o gabarito da questão.

#### 47. (FEPESE/CELESC-2018) Analise as afirmativas abaixo a respeito dos gases ideais:

1. O gás ideal é composto por partículas tão minúsculas, comparadas ao volume do gás, que podem ser consideradas como pontos no espaço com volume zero.



2. Não há interações, atrativas ou repulsivas, entre as partículas do gás ideal.
3. As moléculas apresentam movimento desordenado e velocidades que independem do valor da temperatura do gás.
4. As colisões entre as moléculas são perfeitamente elásticas, ou seja, há total conservação da energia cinética.

Assinale a alternativa que indica todas as afirmativas corretas.

- a) São corretas apenas as afirmativas 1 e 2.
- b) São corretas apenas as afirmativas 2 e 4.
- c) São corretas apenas as afirmativas 1, 2 e 3.
- d) São corretas apenas as afirmativas 1, 2 e 4.
- e) São corretas as afirmativas 1, 2, 3 e 4.

#### Comentário:

Vamos analisar cada um dos itens para a resolução da questão.

O item 1 está correto, uma vez que o gás ideal é composto por minúsculas partículas, em comparação com o seu volume e além disso podemos considera-las com volume inexistente.

O item 2 está correto. Uma das características de um gás ideal é a não ocorrência de interações de atração ou repulsão entre as suas moléculas a não ser quando essas se chocam eventualmente. As moléculas de um gás ideal podem colidir elasticamente com as paredes do recipiente e também uma com as outras.

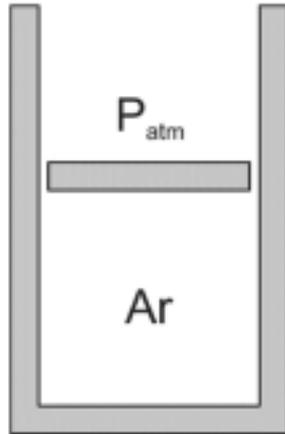
O item 3 está incorreto. Apesar das moléculas dos gases ideais apresentarem movimento desordenado a afirmação está equivocada pelo fato de que a velocidade das moléculas durante esse movimento ser dependente da temperatura e da natureza específica do gás.

O item 4 está correto. As moléculas de um gás ideal apresentam colisões perfeitamente elásticas, conservando totalmente a sua energia cinética.

Portanto, a **alternativa D** está CORRETA e é o gabarito da questão.

- 48. (FCC/EMAE-2018) O conjunto cilindro-pistão, ilustrado abaixo, se encontra na vertical. Ele contém 0,2 kg de ar a 300 K e pressão de 200 kPa. Este conjunto é aquecido até que o volume de ar contido em seu interior dobre.**





Dados:

$$C_{var} = 0,700 \text{ kJ/kg.K};$$

$$C_{par} = 1,00 \text{ kJ/kg.K.}$$

Desprezando-se o atrito do pistão com as paredes do cilindro, então nestas circunstâncias o trabalho realizado é, em kJ,

- a) 12.
- b) 10.
- c) 18.
- d) 15.
- e) 9.

**Comentário:**

A **alternativa C** está CORRETA e é o gabarito da questão. Para resolvermos esta questão precisamos conhecer a equação do trabalho, a equação do estado de um gás ideal e a equação que relaciona os calores específicos com a constante do gás. Vejamos as equações necessárias para resolução da questão:

$$W = P. \Delta V = P. (V_2 - V_1)$$

$$P. V = mRT$$

$$C_p = C_v + R$$

Primeiramente vamos calcular a constante do gás R.

$$C_p = C_v + R \quad \Rightarrow \quad R = C_p - C_v = 1 - 0,7 = 0,3$$

Agora vamos calcular o volume do gás no estado inicial:

$$P. V = mRT \quad \Rightarrow \quad 200. V_1 = 0,2.0,3.300 \quad \Rightarrow \quad V_1 = 0,09 \text{ m}^3$$

Como no enunciado é dito que o gás é aquecido até que seu volume dobre sabemos que o volume no estado 2 será igual a:



$$V_2 = 2 \cdot V_1 = 0,18m^3$$

Assim podemos calcular o trabalho a pressão constante por:

$$W = P \cdot \Delta V = P \cdot (V_2 - V_1) \Rightarrow W = 200k \cdot (0,18 - 0,09) = 18kJ$$

Note que nesta questão não houve a necessidade de conversão de unidades, contudo é sempre importante ficar atento a este detalhe.

**49. (CEPS-UFPA/UNIFESSPA-2018)** Em um sistema constituído de um gás contido num conjunto cilindro-êmbolo, aplica-se uma pressão inicial no gás de 100kPa, ao mesmo tempo em que seu volume é 0,02 m<sup>3</sup>. Durante o processo, coloca-se um bico de Bunsen embaixo do cilindro, permitindo o aumento do volume do gás para 0,2 m<sup>3</sup> à pressão constante. Durante este processo, o trabalho realizado pelo sistema é

- a) 22,0 kJ.
- b) 1,8 kJ.
- c) 2,2 kJ.
- d) 18,0 kJ.
- e) -22,0 kJ.

**Comentário:**

Esta é uma boa questão para fixação do conceito de trabalho para a termodinâmica. Basta conhecermos a equação e realizarmos o cálculo correto para encontrarmos o gabarito da questão. Vejamos:

$$W = P \cdot \Delta V = P \cdot (V_2 - V_1) \Rightarrow W = 100k \cdot (0,2 - 0,02) = 18kJ$$

Portanto, a **alternativa D** está CORRETA e é o gabarito da questão.

**50. (CONSULPLAN/TRF-2ªRegião - 2017)** Segundo a Lei da Termodinâmica, em uma dada máquina térmica são fornecidos 9kJ de calor pela fonte quente para o início do ciclo, sendo o trabalho em módulo  $|\tau|$  realizado pela máquina de 7980J. Qual é o valor em módulo do calor rejeitado à fonte fria deste equipamento? Qual o seu rendimento  $\eta$  em porcentagem, se considerarmos que toda a energia que não é transformada em calor passa a realizar o trabalho?

- a)  $|Q_2| = 920J$ ,  $\eta = 79,36\%$ .
- b)  $|Q_2| = 1020J$ ,  $\eta = 88,67\%$ .
- c)  $|Q_2| = 2020J$ ,  $\eta = 60,67\%$ .



d)  $|Q_2| = 2020J$ ,  $\eta = 89,96\%$ .

**Comentário:**

A eficiência térmica de um sistema que realiza um ciclo de potência pode ser representada pela quantidade de calor  $Q_{entra}$  (energia adicionada) que é convertida em trabalho líquido na saída  $W_{ciclo}$ . Assim, o desempenho (eficiência térmica) ( $\eta$ ) do sistema que realiza um ciclo de potência é expresso por:

$$\eta = \frac{W_{ciclo}}{Q_{entra}}$$

Através da manipulação algébrica uma maneira alternativa de se obter a eficiência térmica de um ciclo de potência é dada por:

$$\eta = \frac{Q_{entra} - Q_{sai}}{Q_{entra}} = 1 - \frac{Q_{sai}}{Q_{entra}}$$

A partir da utilização das duas equações acima podemos solucionar a questão baseado nos dados fornecidos. Vejamos:

$$\eta = \frac{W_{ciclo}}{Q_{entra}} = \frac{7980}{9000} = 0,8867 = 88,67\%$$

$$\eta = \frac{Q_{entra} - Q_{sai}}{Q_{entra}} = 1 - \frac{Q_{sai}}{Q_{entra}} \Rightarrow 0,8867 = 1 - \frac{Q_{sai}}{9000} \Rightarrow Q_{sai} = 1020J$$

Portanto, a **alternativa B** está CORRETA e é o gabarito da questão.

**51. (CEV-UECE/DETRAN-CE - 2018) Um refrigerador, localizado em um ambiente que se encontra a 27 °C, mantém um compartimento fechado e resfriado a -23 °C. Considerando que esse refrigerador executa um ciclo de refrigeração reversível, é correto afirmar que seu coeficiente de desempenho é**

- a) 2.
- b) 3.
- c) 4.
- d) 5.

**Comentário:**



Nesta questão devemos calcular o coeficiente de desempenho máximo para um ciclo de refrigeração reversível. Conhecendo a equação para tal a sacada da questão é realizar a correta conversão da temperatura fornecida em Celsius para Kelvin, em que  $K=(C+273)$ . Vejamos:

$$T_H = 27 + 273 = 300K \quad e \quad T_C = -23 + 273 = 250K$$

Sabendo que a equação para se calcular o coeficiente de desempenho de um sistema que realiza um ciclo de refrigeração reversível e substituindo os valores de temperatura na escala Kelvin temos que:

$$\beta_{m\acute{a}x} = \frac{T_C}{T_H - T_C} = \frac{250}{300 - 250} = 5$$

Logo, a **alternativa D** está CORRETA e é o gabarito da questão.

**52. (CEV-UECE/Pref Sobral – 2018) Um equipamento desenvolve um ciclo de potência recebendo calor de uma fonte quente a 277 °C e despejando calor em uma fonte fria a 17 °C. A eficiência máxima que pode ser obtida por esse equipamento é de aproximadamente**

- a) 06,13 %.
- b) 89,65 %.
- c) 47,26 %.
- d) 93,85 %.

**Comentário:**

Caro estrategista, esta é uma questão simples em que você deve se atentar a conversão da temperatura de Celsius para Kelvin e substituir os valores na equação da eficiência de Carnot. Vejamos:

$$T_H = 277 + 273 = 550K \quad ; \quad T_C = 17 + 273 = 290$$

$$\eta_{m\acute{a}x} = 1 - \frac{T_C}{T_H} = 1 - \frac{290}{550} = 0,472 = 47,2\%$$

Portanto, a **alternativa C** está CORRETA e é o gabarito da questão.

**53. (FCC/EMAE – 2018) A operação de uma máquina térmica se dá segundo o ciclo de Carnot entre as temperaturas de 500 K e 300 K. Na condição desta máquina receber 2000 J de calor proveniente da fonte quente a gás GLP, o valor do trabalho (em J) realizado pela máquina e o valor do calor (em J) rejeitado para a fonte fria são, respectiva e aproximadamente,**

- a) 1333 e 3333.
- b) 1200 e 3200.



- c) 1200 e 800.
- d) 3200 e 1200.
- e) 800 e 1200.

**Comentário:**

Para solucionarmos esta questão devemos conhecer claramente o ciclo de potência de Carnot. Sabendo que a questão trata de um sistema que opera em ciclo, entre um reservatório quente e um reservatório frio que está desenvolvendo um trabalho líquido (W). Podemos calcular a eficiência térmica do ciclo através da seguinte expressão matemática:

$$\eta = \frac{W_{ciclo}}{Q_H} = 1 - \frac{Q_C}{Q_H}$$

Sabemos também que o trabalho realizado pelo ciclo é igual:

$$W_{ciclo} = Q_H - Q_C$$

Além desses conceitos, relacionando a temperatura dos reservatórios térmicos com a transferência de energia que ocorre entre eles e o sistema que opera em ciclos temos a eficiência de Carnot representada pela seguinte expressão:

$$\eta = 1 - \frac{T_C}{T_H}$$

Assim, realizando a substituição dos valores fornecidos no enunciado temos que:

$$\eta = 1 - \frac{T_C}{T_H} = 1 - \frac{300}{500} = 0,4$$

$$\eta = \frac{W_{ciclo}}{Q_H} \Rightarrow W_{ciclo} = 0,4 \cdot 2000 = 800J$$

$$W_{ciclo} = Q_H - Q_C \Rightarrow Q_C = 2000 - 800 = 1200J$$

Logo, a **alternativa E** está CORRETA e é o gabarito da questão.

**54. (FCC/CLDF – 2018) No ciclo padrão a ar de uma turbina a gás simples (ciclo Brayton), admite-se**

- a) compressão e expansão isotérmicas, combustão isobárica e escape dos gases como processo isocórico.
- b) compressão e expansão isoentrópicas, combustão isocórica e uma outra troca de calor, também isocórica.
- c) compressão e expansão isentrópicas, combustão isobárica e uma outra troca de calor isocórica.



d) admissão isobárica, compressão isoentrópica, combustão isocórica, expansão isobárica e escape dos gases como processo isobárico.

e) compressão e expansão isentrópicas, combustão isobárica e uma outra troca de calor, também isobárica.

#### Comentário:

O ciclo ar-padrão Brayton é composto por dois processos isentrópicos e dois processos isobáricos. Sendo que a compressão e expansão são isentrópicas e a combustão e a rejeição de calor a uma fonte externa são a pressão constante. Portanto, a **alternativa E** está CORRETA e é o gabarito da questão.

## LISTA DE QUESTÕES

### 1. (CEBRASPE/CODEVASF-2021) Julgue o item a seguir, relativo a sistemas termomecânicos.

O ciclo Rankine ideal possui os seguintes processos: pressurização adiabática reversível, aquecimento a pressão constante, expansão adiabática reversível e resfriamento a pressão constante.

### 2. (CEBRASPE/CODEVASF-2021) A respeito dos ciclos termodinâmicos, julgue o item a seguir.

Em um ciclo de compressão de vapor, o evaporador retira calor do fluido refrigerante após sua expansão.

### 3. (CEBRASP/EMAP-2018) Em um tubo capilar usado em sistemas de refrigeração, o fluido refrigerante encontra-se, na entrada, no estado sub-resfriado e, na saída, no estado correspondente a uma mistura com baixo título de vapor.

Tendo como referência esse processo, julgue o item que se segue, a respeito dos princípios termodinâmicos.

Considere que o processo em questão se realize nas seguintes condições: operação em regime permanente; processo adiabático; variação nula das energias interna e potencial; e vazão mássica na entrada e na saída do tubo capilar iguais.

Nessas condições, é correta a expressão  $h_1 + EC_1 = h_2 + EC_2$ , em que  $h$  é a entalpia específica,  $EC$  é a energia cinética do fluido refrigerante e os índices 1 e 2 se referem, respectivamente, à entrada e à saída do tubo.

### 4. (CEBRASPE/FUB-2018) Com relação às máquinas térmicas, julgue o item que se segue.

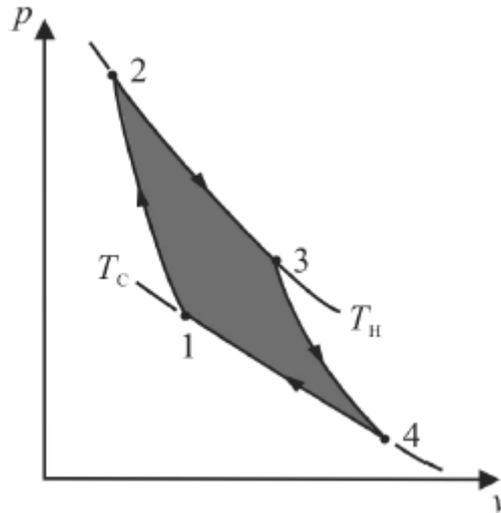
Processos termodinâmicos irreversíveis são caracterizados por não haver perda de energia devido a turbulências, atrito, ou qualquer efeito dissipativo.

### 5. (CEBRASPE/FUB-2018) Com relação às máquinas térmicas, julgue o item que se segue.

De acordo com a figura a seguir, que ilustra um diagrama do ciclo de Carnot de um sistema pistão/cilindro, em que a pressão ( $p$ ) está representada no eixo vertical e o volume ( $v$ ), no eixo horizontal, é correto afirmar



que, do estado 1 para o estado 2, o gás sofre uma compressão adiabática, e que, no estado 2, a temperatura desse gás é  $T_H$ .



6. (CEBRASPE/FUB-2015) Nas máquinas térmicas, o estado termodinâmico da substância de trabalho é alterado por dispositivos do ciclo em questão. Com relação à substância de trabalho, julgue o item a seguir.

É possível manter inalterada a temperatura de um fluido de trabalho por meio de interações simultâneas com a vizinhança de transferência de energia na forma de calor e trabalho.

7. (CEBRASPE/FUB-2015) Nas máquinas térmicas, o estado termodinâmico da substância de trabalho é alterado por dispositivos do ciclo em questão. Com relação à substância de trabalho, julgue o item a seguir.

A transferência de calor para um fluido de trabalho a partir de sua vizinhança permite aumentar a temperatura do fluido. Para esse fim, a parede do dispositivo deve ser adiabática.

8. (CEBRASPE/FUB-2015) Nas máquinas térmicas, o estado termodinâmico da substância de trabalho é alterado por dispositivos do ciclo em questão. Com relação à substância de trabalho, julgue o item a seguir.

A temperatura de um fluido de trabalho aumentará ao se transferir energia da vizinhança para o fluido por meio de uma parede móvel do dispositivo.

9. (CEBRASPE/FUB-2015) Julgue o item seguinte, acerca da Primeira Lei da Termodinâmica para sistemas e volumes de controle.

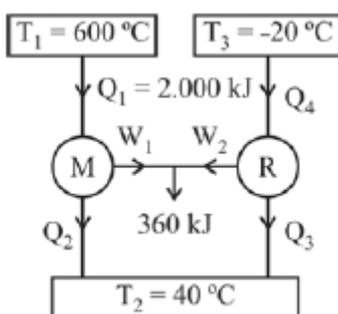
Caso um dispositivo isolado termicamente tenha paredes rígidas por onde escoam, internamente,  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  de ar, ele deve ser tratado como sistema isolado, visto que não é possível haver interações com a vizinhança na forma de calor ou trabalho.



**10. (CEBRASPE/FUB-2015) Julgue o item seguinte, acerca da Primeira Lei da Termodinâmica para sistemas e volumes de controle.**

Um secador de cabelo ligado, no qual ocorre o aumento da temperatura do ar por meio de trabalho que atravessa a sua fronteira, pode ser classificado, termodinamicamente, como um volume de controle.

**11. (CEBRASPE/PF-2014)**

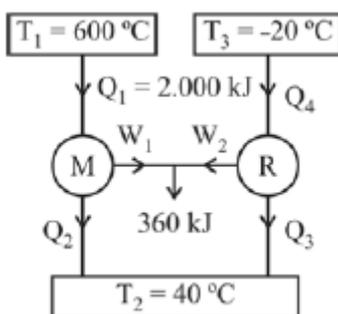


A figura acima mostra esquematicamente a configuração de uma máquina térmica reversível combinada que opera pelo ciclo de Carnot entre 600 °C e 40 °C. O motor térmico aciona um refrigerador reversível que opera entre 40 °C e -20 °C. A energia transferida ao motor é igual a 2.000 kJ e o trabalho líquido realizado pela máquina combinada motor/refrigerador é igual a 360 kJ.

A partir dessas informações, julgue o item subsequente.

O coeficiente de performance (COP) do refrigerador é maior que 5.

**12. (CEBRASPE/PF-2014)**



A figura acima mostra esquematicamente a configuração de uma máquina térmica reversível combinada que opera pelo ciclo de Carnot entre 600 °C e 40 °C. O motor térmico aciona um refrigerador reversível que opera entre 40 °C e -20 °C. A energia transferida ao motor é igual a 2.000 kJ e o trabalho líquido realizado pela máquina combinada motor/refrigerador é igual a 360 kJ.

A partir dessas informações, julgue o item subsequente.

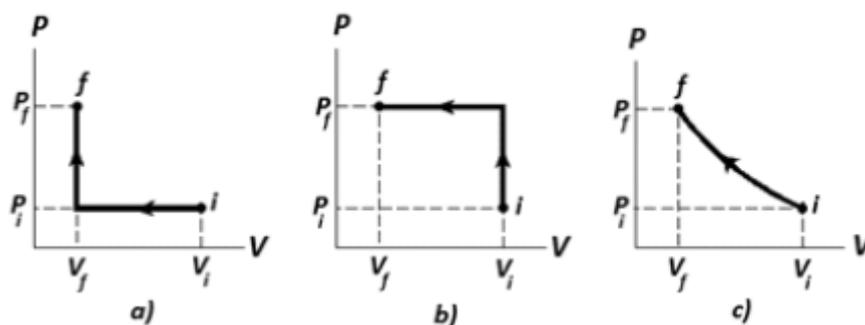
O rendimento do referido motor é inferior a 50%.

13. (CEBRASPE/TJ CE-2014) Considere que um pneu automotivo de  $0,6 \text{ m}^3$  seja calibrado com  $200 \text{ kPa}$  (manométrico), que a temperatura do pneu e do ar seja igual a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , e que a constante do gás seja de  $287 \text{ (Nm)/(kgK)}$ . Nessa hipótese, a melhor estimativa para a massa de ar, no pneu, é

- a) 4,5 kg.
- b) 3,2 kg.
- c) 2,1 kg.
- d) 5,8 kg.
- e) 5,2 kg.

14. (CEBRASPE/TRT 10ª R-2013) Julgue o item subsequente, que se refere às Leis da Termodinâmica.

Entre os três processos esquematizados nos diagramas  $PV$  (pressão versus volume) mostrados abaixo, referentes à compressão, do estado inicial  $i$  para o estado final  $f$ , exercida por um pistão sobre um gás contido em um cilindro, é correto afirmar que, no processo  $b$ , é realizado o maior trabalho.



15. (CEBRASPE/MPU-2013) A termodinâmica pode ser definida como a ciência que estuda a energia nas suas diferentes formas: térmica, mecânica, cinética, potencial, elétrica, magnética e nuclear. Acerca das diferentes formas de energia, julgue o item que se segue.

Calor e trabalho são duas formas de energia possíveis, pelas quais a energia pode cruzar a fronteira de um sistema fechado. A quantidade de calor de um corpo depende de sua temperatura.

16. (CEBRASPE/ PO-AL-2013) Com relação aos processos reversíveis e irreversíveis que afetam os ciclos termodinâmicos, julgue o item que se segue.

O ciclo de Carnot é composto por quatro processos reversíveis, sendo dois deles isotérmicos e os demais adiabáticos. A eficiência de um ciclo de Carnot operando como refrigerador ou motor térmico entre dois reservatórios térmicos a temperaturas distintas é a maior possível.

17. (CEBRASPE/SLU DF-2019) A respeito dos ciclos termodinâmicos, julgue o item a seguir.

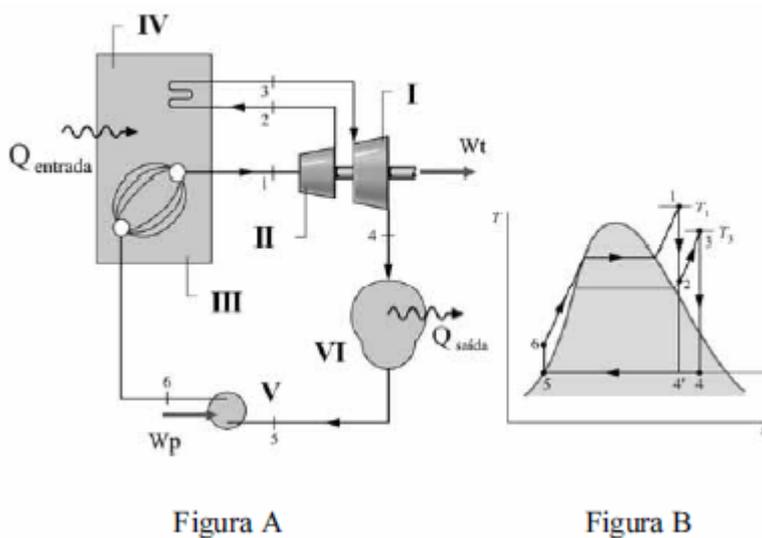


Em um ciclo-padrão a ar Brayton, o fluido de trabalho não apresenta mudança de fase, estando sempre na fase de vapor.

**18. (CEBRASPE/IFF-2018)** Em um motor em ciclo Carnot, uma eficiência de 30% pode ser dobrada aumentando-se a temperatura da fonte quente em

- a) 30%.
- b) 45%.
- c) 50%.
- d) 60%.
- e) 75%.

**19. (CEBRASPE/PCie PE-2016)**



As figuras A e B ilustram esquematicamente um ciclo de geração de potência que usa turbinas a vapor e que mostra as transformações de temperatura (T) e entropia (s) do fluido de trabalho. A respeito desse ciclo, assinale a opção correta.

- a) Na figura A a entrada de calor para o ciclo  $Q_{entrada}$  corresponde, na figura B, às áreas abaixo das linhas 6–1 e 2–3.
- b) O trabalho líquido do ciclo é dado pela soma do trabalho gerado nos processos 1–2 e 3–4.
- c) O componente identificado por VI, na figura A, é a caldeira do ciclo.
- d) O esquema da figura A ilustra a aplicação de turbinas a vapor em ciclos Rankine com extração e regeneração.

e) A turbina é de duplo estágio, em que I representa o estágio de alta pressão e II representa o de baixa pressão.

**20. (CEBRASPE/FUB-2015) Com referência a ciclos termodinâmicos, julgue o próximo item.**

O ciclo Rankine opera na entrada da turbina, com a substância de trabalho, no estado gasoso, como a água e alguns hidrocarbonetos, ao passo que, na entrada da bomba hidráulica a substância de trabalho está no estado líquido.

**21. (CEBRASPE/FUB-2015) Com referência a ciclos termodinâmicos, julgue o próximo item.**

Ciclos de turbina a gás podem operar de forma eficiente com hélio, como fluido de trabalho, e com energia solar.

**22. (CEBRASE/PF-2014) Em relação à classificação e aos ciclos de potência que utilizam turbinas a vapor, julgue o item que se segue.**

O ciclo termodinâmico de Brayton é utilizado na análise da geração de potência por meio de turbina a vapor.

**23. (CEBRASE/PF-2014) Em relação à classificação e aos ciclos de potência que utilizam turbinas a vapor, julgue o item que se segue.**

Em um ciclo ideal de turbina a vapor, a geração de potência ocorre em um processo de expansão à entropia constante desde o estado de vapor de água saturado, na entrada da turbina, até o estado de mistura vapor/líquido, na saída da turbina.

**24. (CEBRASE/PF-2014) Em relação à classificação e aos ciclos de potência que utilizam turbinas a vapor, julgue o item que se segue.**

Em um ciclo de turbina a vapor ideal, o rendimento é máximo, pois, em condições ideais, a única entrada de energia requerida é a necessária ao bombeamento do condensado para que circule o fluido de trabalho, de modo a elevar sua pressão.

**25. (CEBRASPE/UNIPAMPA-2016) Com relação a turbinas a vapor, julgue o item a seguir.**

Em plantas em que o vapor d'água é pressurizado por meio de compressores axiais, deve-se considerar a eficiência isentrópica do vapor no cálculo da potência do motor elétrico que aciona o compressor.

**26. (NUCEPE-UEPI/PC-PI-2018) O pneu de um automóvel foi regulado de forma a manter uma pressão interna de 24 libras-força por polegada quadrada, a uma temperatura de 21 °C. Durante o movimento do automóvel, no entanto, a temperatura do pneu elevou-se a 70 °C. Escolha a alternativa que determina a pressão interna correspondente, em libras-força por polegada quadrada. Despreze a variação de volume do pneu e assumo o ar como gás ideal.**

a) 24 psi.



- b) 26 psi.
- c) 30 psi.
- d) 32 psi.
- e) 28 psi.

**27. (IBFC/PCPR-2017) Analise as afirmativas que seguem tendo como base o tema “termodinâmica”**

**I. É impossível construir uma máquina térmica que, operando em ciclo, extraia calor de uma fonte e o transforme integralmente em trabalho.**

**II. Em um sistema fechado, não há troca de massa com a vizinhança, mas é permitida passagem de calor e trabalho por sua fronteira.**

**III. Sistema isolado é um sistema que não troca energia nem massa com a sua vizinhança.**

**Está correto o que se afirma em:**

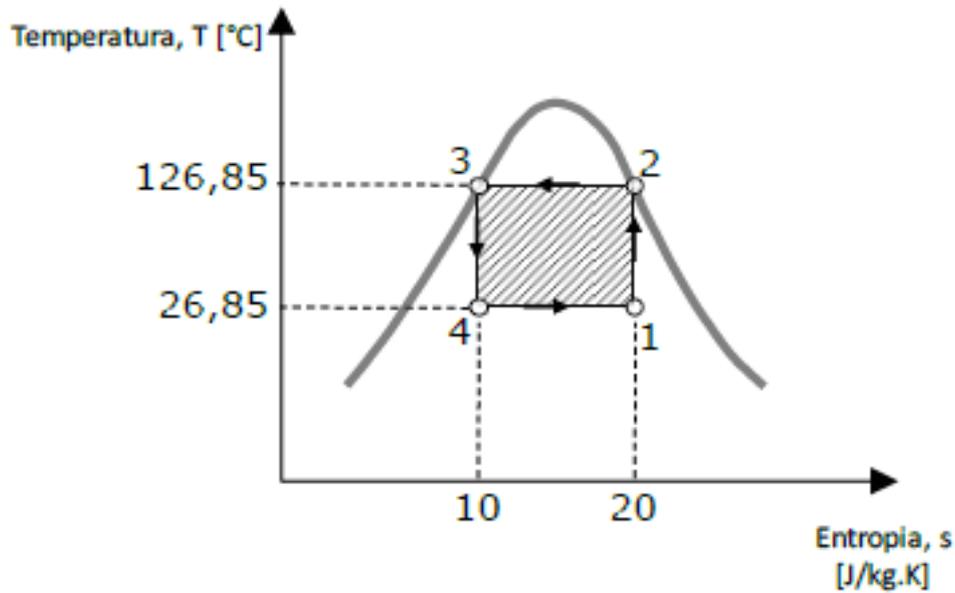
- a) I e II, apenas
- b) II e III, apenas
- c) I e III, apenas
- d) I, II e III
- e) III, apenas

**28. (CESPE/PCie PE-2016) Acerca do desempenho energético de um ciclo de refrigeração por compressão a vapor de Carnot, assinale a opção correta.**

- a) O processo de expansão ocorre com entropia constante.
- b) Os processos de transferência de calor nesse ciclo ocorrem sem mudança de fase e com entalpia constante.
- c) O coeficiente de performance do ciclo aumentará caso seja mantida constante a temperatura de evaporação e seja aumentada a temperatura de condensação.
- d) O processo de compressão ocorre com o aumento da entropia do refrigerante entre a sucção e a descarga do compressor.
- e) O refrigerante, na sucção do compressor, encontra-se no estado de vapor saturado.

**29. (IADES/PC DF-2016) A figura apresentada indica um ciclo de refrigeração de Carnot.**





A esse respeito, assinale a alternativa que corresponde aos valores corretos do coeficiente de performance ou eficácia (COP) e do trabalho específico de compressão.

- a) COP = 3,000 e  $w = 1000$  J/kg
- b) COP = 0,270 e  $w = 1000$  J/kg
- c) COP = 2,000 e  $w = 100$  J/kg
- d) COP = 1,500 e  $w = 200$  J/kg
- e) COP = 2,000 e  $w = 150$  J/kg

**30. (IBFC/PC RJ-2013) Toda máquina térmica funciona em ciclos, ou seja, executa etapas que se repetem periodicamente, Portanto, de acordo com a segunda lei da termodinâmica, é correta seguinte afirmativa:**

- a) nenhuma máquina térmica pode retirar calor de uma fonte e transformá-lo integralmente em trabalho.
- b) as turbinas a vapor e os motores Wankel podem retirar calor de uma fonte e transformá-lo integralmente em trabalho.
- c) apenas as máquinas térmicas alternativas de combustão interna podem retirar calor de uma fonte e transformá-lo integralmente em trabalho.
- d) qualquer máquina térmica pode retirar calor de um fonte e transformá-lo integralmente em trabalho.
- e) somente as turbinas a gás podem retirar calor de uma fonte e transformá-lo integralmente em trabalho.



**31. (IBFC/PC RJ-2013) Suponha que um motor elétrico transforme integralmente 25J de energia elétrica em apenas duas modalidades de energia: a mecânica e a térmica. De acordo com a 1ª lei da termodinâmica, é correta a seguinte afirmação:**

- a) a soma das energias mecânicas e térmica é menor que 25J.
- b) a energia mecânica sempre será maior que a energia térmica.
- c) essa transformação não pode ser realizada.
- d) a soma das energias mecânicas e térmica vale 25J.
- e) ambas as energias, mecânicas e térmica, não se somam.

**32. (IBFC/PC RJ-2013) Uma tabela fornece para cada par de valores de temperaturas e de pressão de saturação do vapor d'água, valores de volume específico, energia interna, entalpia e entropia. Portanto, é válida a afirmação de que esses quatro últimos valores são, para o vapor d'água,**

- a) condições de equilíbrio.
- b) propriedades termodinâmicas.
- c) coeficientes de rendimento.
- d) fatores de absorção adiabática.
- e) atributos para transmissão de calor.

**33. (FGV/PC RJ-2009) A respeito de fenômenos termodinâmicos, analise as afirmativas a seguir:**

I. A pressão manométrica é a magnitude do resultado positivo da diferença entre a pressão absoluta medida pelo dispositivo e a pressão atmosférica local externa ao dispositivo de medida em um sistema.

II. As propriedades que são obtidas pela soma de seus valores das partes, em que o sistema é dividido, são denominadas extensivas, e as que não podem ser adicionadas, nesse mesmo sentido, são chamadas de intensivas.

III. Ciclo termodinâmico é definido como uma sequência de processos que se inicia e termina em um mesmo estado, em que ao final do ciclo todas as propriedades devem apresentar os mesmos valores que elas possuem no início.

Assinale:

- a) se somente a afirmativa I estiver correta.
- b) se somente as afirmativas I e II estiverem corretas.



- c) se somente as afirmativas I e III estiverem corretas.
- d) se somente as afirmativas II e III estiverem corretas.
- e) se todas as afirmativas estiverem corretas.

**34. (IBFC/PC RJ-2013) Pense no ciclo ideal para uma unidade motora simples a vapor conforme apresentado na tabela a seguir.**

<b>Componente</b>	<b>Processo</b>
bomba	bombeamento adiabático reversível
caldeira	troca de calor a pressão constante
turbina	expansão adiabática reversível
condensador	troca de calor a pressão constante

Por conseguinte, pode-se concluir que a unidade motora representa o ciclo de:

- a) Ericsson.
- b) Carnot.
- c) Atkinson.
- d) Rankine.
- e) Miller.

**35. (IBFC/PC RJ-2013) O ciclo-padrão de ar Brayton é o ciclo ideal para uma máquina térmica de ciclo aberto que utiliza um processo de combustão interna ou e ciclo fechado que utiliza processos de troca de calor. Pode-se, então, concluir, que essa máquina térmica é um exemplo de:**

- a) turbina a vapor.
- b) motor de ignição por compressão.
- c) turbina a gás simples.
- d) motor Diesel superalimentado.
- e) motor do ciclo Otto.

**36. (CESGRANRIO/TRANSPETRO-2018) Um projetista precisa saber qual a quantidade de calor fornecida a um sistema, mostrado na Figura abaixo, para calcular o valor da resistência elétrica. Tal sistema é constituído por um pistão atuador a gás, com paredes adiabáticas, acionado por um circuito elétrico, e aparafusado em uma base,**





A área do pistão é  $20 \text{ cm}^2$ , e o carrinho, que é rigidamente ligado ao pistão, é deslocado sem oferecer qualquer resistência por  $15 \text{ cm}$  para a direita, quando o gás, perfeito por hipótese, localizado à esquerda do pistão, é aquecido. Durante o deslocamento, a pressão do gás é constante e igual a  $250 \text{ kPa}$ , e a variação de energia interna do gás é igual a  $18 \text{ J}$ . Nesse caso, a quantidade de calor, em joules, fornecida pela resistência é

- a) 75
- b) 93
- c) 55.500
- d) 75.000
- e) 93.000

**37. (CESGRANRIO/PETROBRAS-2015)** Pelo princípio da conservação da energia, sabe-se que a variação líquida da energia total de um sistema durante um processo é igual à diferença entre a energia total que entra e a energia total que sai do sistema durante esse processo. Nos sistemas estacionários, a variação da energia total corresponde à(ao):

- a) variação da energia cinética
- b) variação da energia potencial
- c) variação da energia interna
- d) somatório da variação da energia cinética com a variação da energia interna
- e) somatório da variação da energia cinética com a variação da energia potencial

**38. (CESGRANRIO/TRANPETRO-2018)** Para a hipótese de gás ideal, a variação da energia interna específica e a variação da entalpia específica, ambas em função da temperatura, recebem os nomes, respectivamente, de

- a) calor específico a volume constante e calor específico a pressão constante
- b) calor específico a pressão constante e calor específico a volume constante



- c) entalpia específica a volume constante e energia interna específica a pressão constante
- d) entalpia específica a pressão constante e entropia específica a volume constante
- e) entropia específica a pressão constante e entropia específica a volume constante

**39. (CESGRANRIO/PETROBRAS - 2018) Um motor térmico operando segundo um ciclo de Carnot possui rendimento de 45%.**

**Se a temperatura da fonte quente é de 60 °C, qual é o valor da temperatura da fonte fria desse sistema, em °C?**

- a) -89,92
- b) -33,00
- c) -5,65
- d) 15,75
- e) 33,00

**40. (CESGRANRIO/PETROBRAS-2018) Uma unidade motora funciona segundo um ciclo Rankine que utiliza vapor d'água com fluido de trabalho. O vapor deixa a caldeira como vapor saturado. Sabe-se que o calor rejeitado pelo fluido de trabalho em escoamento é de 2.100 kJ/kg, enquanto o calor trocado na caldeira e o trabalho na turbina são iguais a 2.800 kJ/kg e 800 kJ/g, respectivamente.**

**Qual é o valor do rendimento térmico do ciclo?**

- a) 25%
- b) 45%
- c) 62%
- d) 71%
- e) 75%

**41. (CESGRANRIO/TRANSPETRO - 2018) O ciclo ideal usado para modelar a turbina a gás é o ciclo Brayton. A turbina a gás pode operar em um ciclo aberto ou em um ciclo fechado. Uma diferença entre o ciclo aberto e o fechado é que nesse último, há a presença de um componente adicional, ou seja, de um(a.)**

- a) compressor



- b) trocador de calor
- c) bomba
- d) turbina
- e) válvula de expansão

**42. (CESGRANRIO/TRANSPETRO-2018) Durante o ensaio de um motor de combustão interna, a média das temperaturas máximas de combustão e a média das temperaturas máximas de escape registradas são, respectivamente, 2.100°C e 750°C.**

O valor máximo da eficiência térmica, em porcentagem, de tal motor não ultrapassa

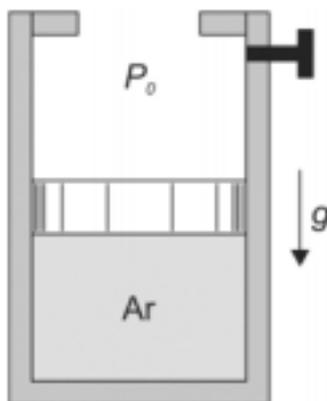
- a) 35,7
- b) 43,1
- c) 56,9
- d) 64,3
- e) 75,8

**43. (CESGRANRIO/PETROBRAS - 2018) Uma característica importante do ciclo Brayton é a quantidade de trabalho necessário no compressor, comparado ao trabalho da turbina. O compressor pode necessitar de até, no máximo, x % da potência desenvolvida na turbina, sendo que x corresponde a**

- a) 20%
- b) 35%
- c) 60%
- d) 80%
- e) 95%

**44. (FCC/SABESP-2018) O conjunto cilindro-pistão mostrado na figura abaixo contém ar (admita como gás perfeito) a 200 kPa e 600 K. O ar é expandido num processo a pressão constante até que o volume se torne igual ao dobro do inicial (estado 2).**





Nesse ponto, o pistão é travado com um pino. A temperatura do ar no estado 2 é

- a) 120 K.
- b) 600 K.
- c) 300 K.
- d) 450 K.
- e) 1200 K.

45. (FCC/EMAE - 2018) Uma usina hipotética geradora de energia elétrica tem como característica a geração de energia pelos processos hidrelétrico e termelétrico, mas não simultaneamente. Por causa da natureza da geração hidrelétrica, a usina foi construída próxima de um rio.

A geração termelétrica só entra em operação em períodos de escassez de água na represa usada para movimentar as turbinas dos geradores ou em períodos de manutenção dos equipamentos da hidrelétrica.

Os geradores termelétricos operam a partir do calor produzido pela queima de carvão mineral. Na sala de geradores termelétricos, há um sistema de ventilação forçada que substitui equipamentos de ar condicionado, por conta de um melhor aproveitamento da energia consumida no local, e cuja função é manter a temperatura ambiente próxima de 23°C.

Um dos ambientes da usina está sendo criado para acomodar uma guilhotina elétrica a ser usada para corte de placas de cobre de um sistema de ionização usado em partes da planta industrial para tratamento da água, antes de retorná-la ao leito do rio.

O diagrama unifilar da iluminação da sala onde ficará a guilhotina está ilustrado na Figura I e a placa de especificações do motor da guilhotina está ilustrada na Figura II.



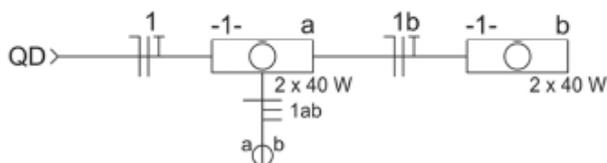


Figura I

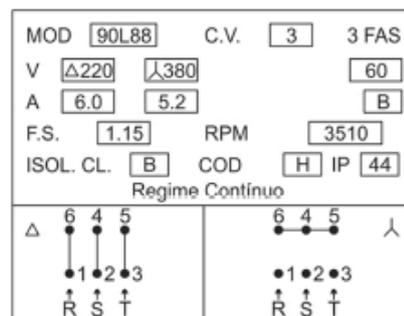


Figura II

Uma das etapas da geração termelétrica dessa usina é composta por um sistema que executa uma transformação isotérmica.

Considerando as condições de pressão  $P$ , temperatura  $T$  e volume  $V$ , tal transformação é caracterizada pela expressão

- $P_1/T_1 = P_2/T_2 = P_3/T_3 = \dots = P_n/T_n = \text{constante}$ .
- $V_1/T_1 = V_2/T_2 = V_3/T_3 = \dots = V_n/T_n = \text{constante}$ .
- $P_1/T_1 = P_2/T_2 = P_3/T_3 = \dots = P_n/T_n = \text{zero}$ .
- $P_1.V_1 = P_2.V_2 = P_3.V_3 = \dots = P_n.V_n = \text{constante}$ .
- $P_1.T_1 = P_2.T_2 = P_3.T_3 = \dots = P_n.T_n = \text{constante}$ .

46. (IBFC/IDAM-2019) Leia o texto a seguir (adaptado) a respeito do conceito de Entalpia na Termodinâmica:

“Em diversas análises termodinâmicas, a soma \_\_\_\_\_ com o produto \_\_\_\_\_ pelo \_\_\_\_\_ se faz presente. À esta combinação, podemos dar o nome de Entalpia, e um símbolo específico  $H$ ” (SHAPIRO; MORAN, 2009)

Assinale a alternativa que preenche correta e respectivamente as lacunas:

- da energia interna “ $U$ ” / do calor específico “ $c$ ” / volume “ $V$ ”
- da energia interna “ $U$ ” / da pressão “ $p$ ” / volume “ $V$ ”
- da massa “ $m$ ” / da temperatura “ $T$ ” / calor específico “ $c$ ”
- da entropia “ $s$ ” / da temperatura “ $T$ ” / calor específico “ $c$ ”

47. (FEPESE/CELESC-2018) Analise as afirmativas abaixo a respeito dos gases ideais:

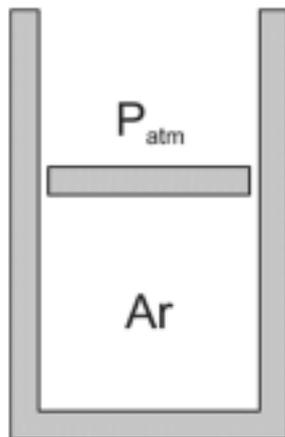


1. O gás ideal é composto por partículas tão minúsculas, comparadas ao volume do gás, que podem ser consideradas como pontos no espaço com volume zero.
2. Não há interações, atrativas ou repulsivas, entre as partículas do gás ideal.
3. As moléculas apresentam movimento desordenado e velocidades que independem do valor da temperatura do gás.
4. As colisões entre as moléculas são perfeitamente elásticas, ou seja, há total conservação da energia cinética.

Assinale a alternativa que indica todas as afirmativas corretas.

- a) São corretas apenas as afirmativas 1 e 2.
- b) São corretas apenas as afirmativas 2 e 4.
- c) São corretas apenas as afirmativas 1, 2 e 3.
- d) São corretas apenas as afirmativas 1, 2 e 4.
- e) São corretas as afirmativas 1, 2, 3 e 4.

48. (FCC/EMAE-2018) O conjunto cilindro-pistão, ilustrado abaixo, se encontra na vertical. Ele contém 0,2 kg de ar a 300 K e pressão de 200 kPa. Este conjunto é aquecido até que o volume de ar contido em seu interior dobre.



Dados:  
 $C_{var} = 0,700 \text{ kJ/kg.K};$   
 $C_{par} = 1,00 \text{ kJ/kg.K}.$

Desprezando-se o atrito do pistão com as paredes do cilindro, então nestas circunstâncias o trabalho realizado é, em kJ,

- a) 12.
- b) 10.
- c) 18.



d) 15.

e) 9.

**49. (CEPS-UFPA/UNIFESSPA-2018)** Em um sistema constituído de um gás contido num conjunto cilindro-êmbolo, aplica-se uma pressão inicial no gás de 100kPa, ao mesmo tempo em que seu volume é  $0,02 \text{ m}^3$ . Durante o processo, coloca-se um bico de Bunsen embaixo do cilindro, permitindo o aumento do volume do gás para  $0,2 \text{ m}^3$  à pressão constante. Durante este processo, o trabalho realizado pelo sistema é

a) 22,0 kJ.

b) 1,8 kJ.

c) 2,2 kJ.

d) 18,0 kJ.

e) -22,0 kJ.

**50. (CONSULPLAN/TRF-2ª Região - 2017)** Segundo a Lei da Termodinâmica, em uma dada máquina térmica são fornecidos 9kJ de calor pela fonte quente para o início do ciclo, sendo o trabalho em módulo  $|\tau|$  realizado pela máquina de 7980J. Qual é o valor em módulo do calor rejeitado à fonte fria deste equipamento? Qual o seu rendimento  $\eta$  em porcentagem, se considerarmos que toda a energia que não é transformada em calor passa a realizar o trabalho?

a)  $|Q_2| = 920\text{J}$ ,  $\eta = 79,36\%$ .

b)  $|Q_2| = 1020\text{J}$ ,  $\eta = 88,67\%$ .

c)  $|Q_2| = 2020\text{J}$ ,  $\eta = 60,67\%$ .

d)  $|Q_2| = 2020\text{J}$ ,  $\eta = 89,96\%$ .

**51. (CEV-UECE/DETRAN-CE - 2018)** Um refrigerador, localizado em um ambiente que se encontra a  $27^\circ\text{C}$ , mantém um compartimento fechado e resfriado a  $-23^\circ\text{C}$ . Considerando que esse refrigerador executa um ciclo de refrigeração reversível, é correto afirmar que seu coeficiente de desempenho é

a) 2.

b) 3.

c) 4.



d) 5.

**52. (CEV-UECE/Pref Sobral – 2018) Um equipamento desenvolve um ciclo de potência recebendo calor de uma fonte quente a  $277\text{ }^{\circ}\text{C}$  e despejando calor em uma fonte fria a  $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A eficiência máxima que pode ser obtida por esse equipamento é de aproximadamente**

a) 06,13 %.

b) 89,65 %.

c) 47,26 %.

d) 93,85 %.

**53. (FCC/EMAE – 2018) A operação de uma máquina térmica se dá segundo o ciclo de Carnot entre as temperaturas de 500 K e 300 K. Na condição desta máquina receber 2000 J de calor proveniente da fonte quente a gás GLP, o valor do trabalho (em J) realizado pela máquina e o valor do calor (em J) rejeitado para a fonte fria são, respectiva e aproximadamente,**

a) 1333 e 3333.

b) 1200 e 3200.

c) 1200 e 800.

d) 3200 e 1200.

e) 800 e 1200.

**54. (FCC/CLDF – 2018) No ciclo padrão a ar de uma turbina a gás simples (ciclo Brayton), admite-se**

a) compressão e expansão isotérmicas, combustão isobárica e escape dos gases como processo isocórico.

b) compressão e expansão isoentrópicas, combustão isocórica e uma outra troca de calor, também isocórica.

c) compressão e expansão isentrópicas, combustão isobárica e uma outra troca de calor isocórica.

d) admissão isobárica, compressão isoentrópica, combustão isocórica, expansão isobárica e escape dos gases como processo isobárico.

e) compressão e expansão isentrópicas, combustão isobárica e uma outra troca de calor, também isobárica.



## GABARITO

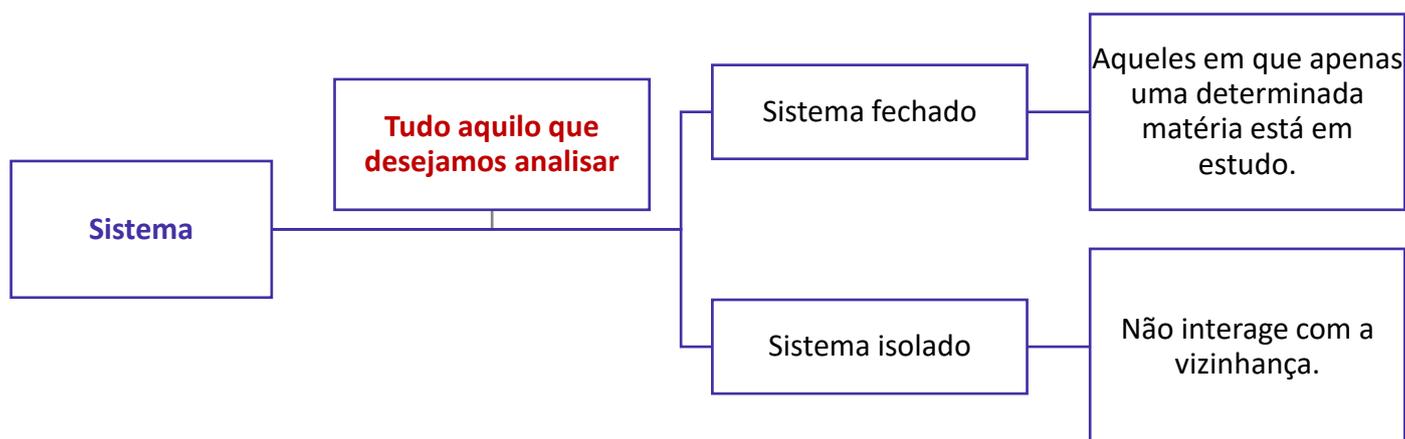
- |               |       |
|---------------|-------|
| 1. CORRETO    | 28. A |
| 2. INCORRETO  | 29. A |
| 3. CORRETO    | 30. A |
| 4. INCORRETO  | 31. D |
| 5. CORRETO    | 32. B |
| 6. CORRETO    | 33. E |
| 7. INCORRETO  | 34. D |
| 8. INCORRETO  | 35. C |
| 9. INCORRETO  | 36. B |
| 10. CORRETO   | 37. C |
| 11. INCORRETO | 38. A |
| 12. INCORRETO | 39. A |
| 13. C         | 40. A |
| 14. CORRETO   | 41. B |
| 15. INCORRETO | 42. C |
| 16. CORRETO   | 43. D |
| 17. CORRETO   | 44. E |
| 18. E         | 45. D |
| 19. A         | 46. B |
| 20. CORRETO   | 47. D |
| 21. CORRETO   | 48. C |
| 22. INCORRETO | 49. D |
| 23. CORRETO   | 50. B |
| 24. INCORRETO | 51. D |
| 25. INCORRETO | 52. C |
| 26. E         | 53. E |
| 27. D         | 54. E |



## RESUMO

Deixo aqui um compilado de esquemas elaborados para você relembrar e revisar os principais tópicos abordados nesta aula. :)

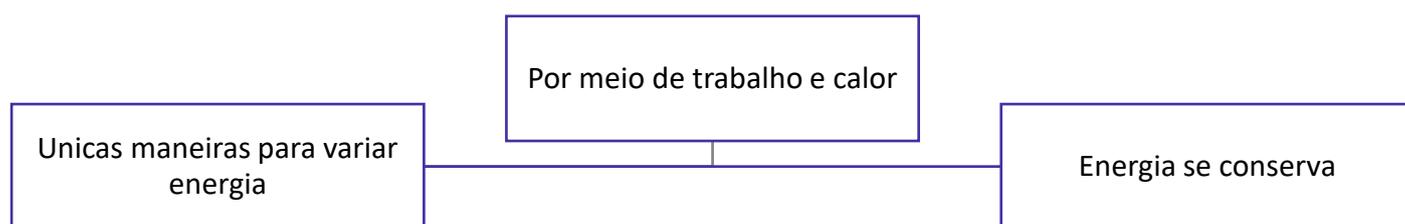
### 1 - Conceitos Fundamentais



#### Lei zero da termodinâmica

- Quando dois corpos possuem igualdade de temperatura (equilíbrio térmico) com um terceiro corpo, eles terão igualdade entre si. Normalmente este terceiro corpo é um termômetro utilizado para a medição de temperatura.

### 2 - 1ª Lei da termodinâmica

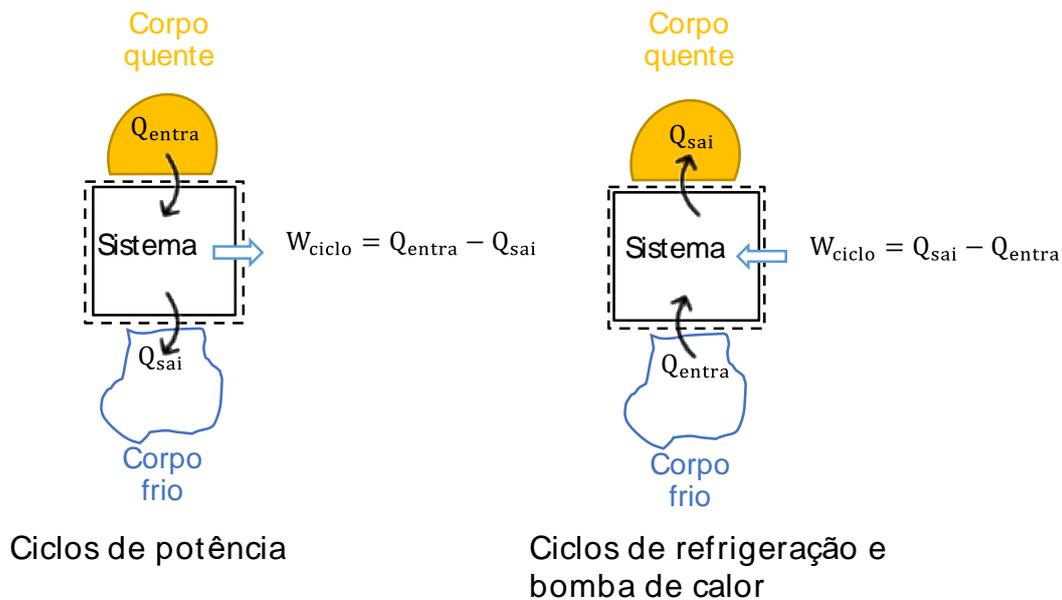


Balanco de energia para um sistema:

$$E_2 - E_1 = Q - W$$

Ciclos de potência e ciclos de refrigeração e bomba de calor.





### Eficiência Térmica Ciclo de Potência

$$\eta = \frac{Q_{entra} - Q_{sai}}{Q_{sai}} = 1 - \frac{Q_{sai}}{Q_{entra}}$$

### Eficiência Térmica Bomba de Calor

$$\gamma = \frac{Q_{sai}}{W_{ciclo}} = \frac{Q_{sai}}{Q_{sai} - Q_{entra}}$$

### Eficiência Térmica ciclo de Refrigeração

$$\beta = \frac{Q_{entra}}{W_{ciclo}} = \frac{Q_{entra}}{Q_{sai} - Q_{entra}}$$

### Equação de Estado de um gás

$$P.V = nRT$$

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$



## 3 - 2ª Lei da Termodinâmica

### Enunciado de Clausius

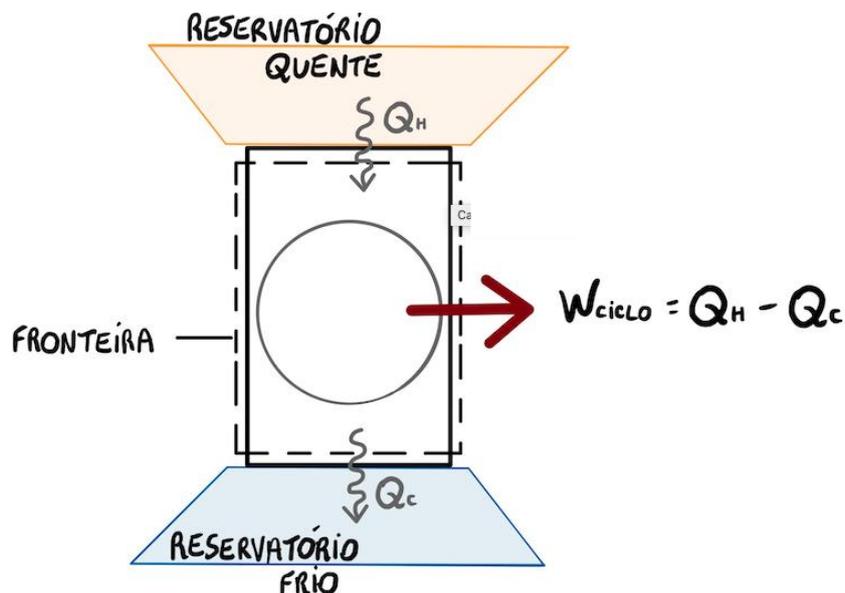
- É impossível para qualquer sistema operar de tal maneira que o único resultado seja a transferência de energia sob a forma de calor de um corpo mais frio para um corpo mais quente sem que ela se movimente à custa de trabalho.

### Enunciado de Kelvin-Planck

- É impossível para qualquer sistema operar em um ciclo termodinâmico e fornecer uma quantidade líquida de trabalho para a sua vizinhança enquanto recebe energia por transferência de calor de um único reservatório térmico.

### Enunciado da Entropia

- A entropia ( $S$ ) de um sistema isolado, quando submetido a um processo termodinâmico sempre cresce (processos reversíveis) ou permanece constante (processos irreversíveis),  $\Delta S \geq 0$ .



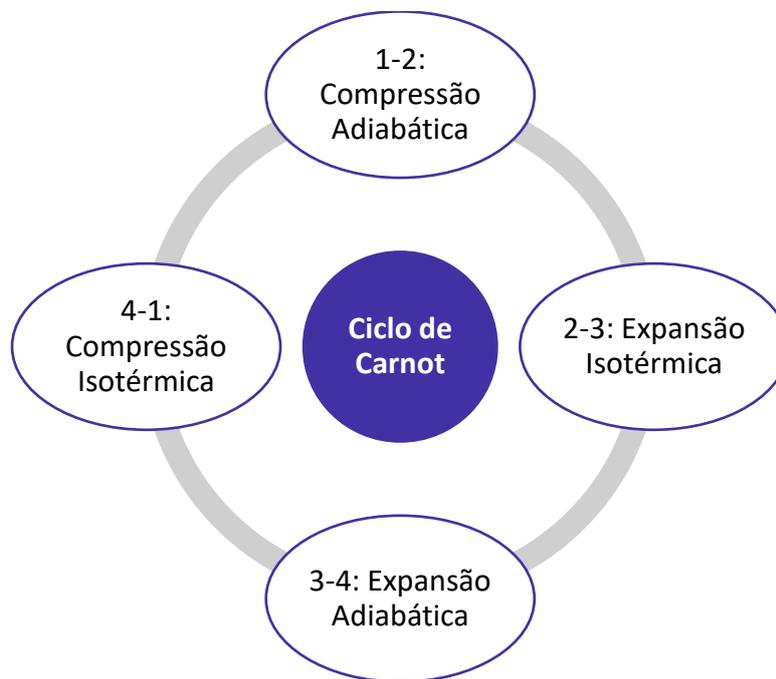
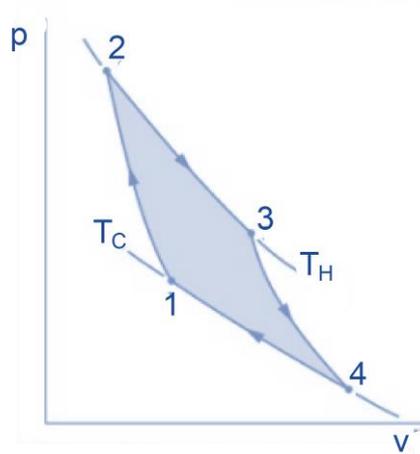
**Eficiência térmica máxima de um sistema que percorre um ciclo de potência reversível** operando entre dois reservatórios:

$$\eta_{\text{máx}} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$$

## 4 - Ciclo de Carnot

Diagrama p-v





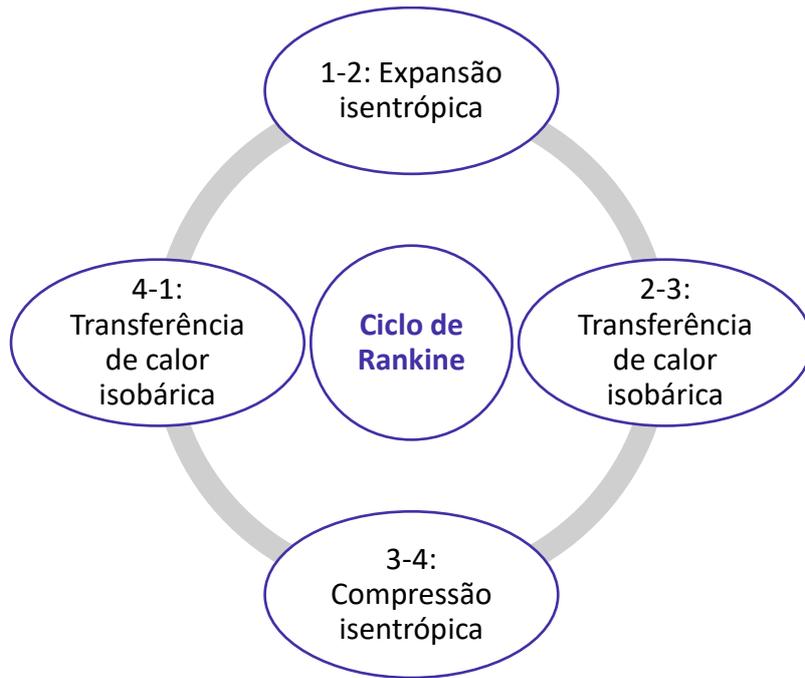
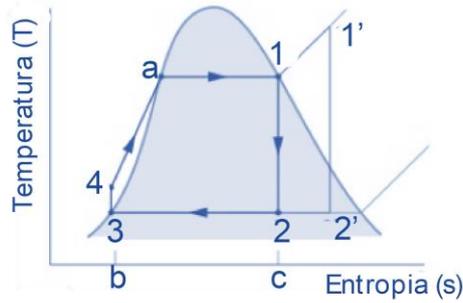
## 5 - Ciclo de Rankine

Eficiência Térmica

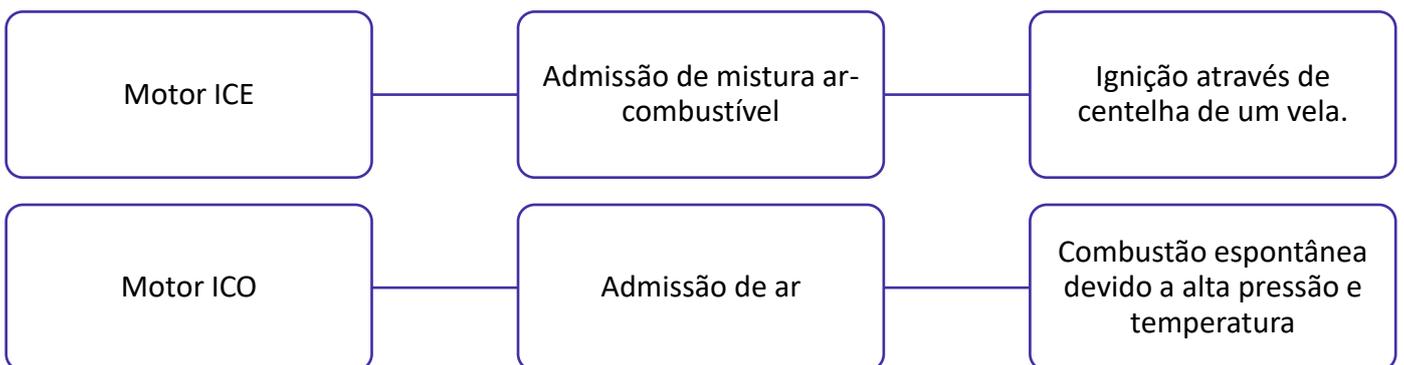
$$\eta = 1 - \frac{\dot{Q}_{sai}/\dot{m}}{\dot{Q}_{entra}/\dot{m}}$$

Diagrama T-s





## 6 - Motores a combustão interna



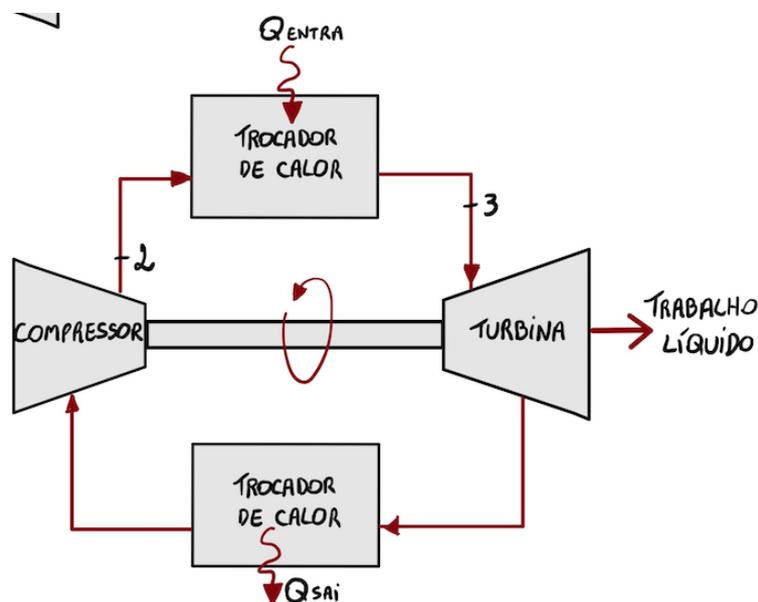
### Outras Classificações:

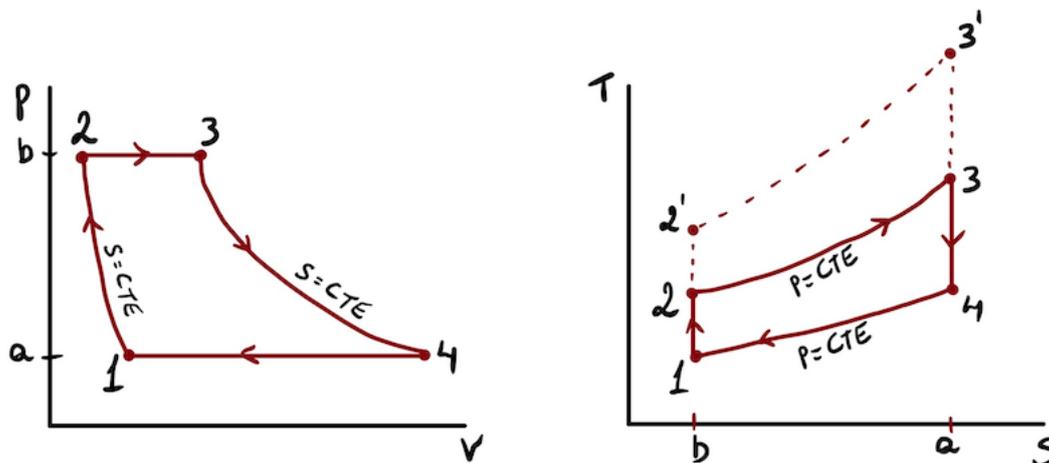
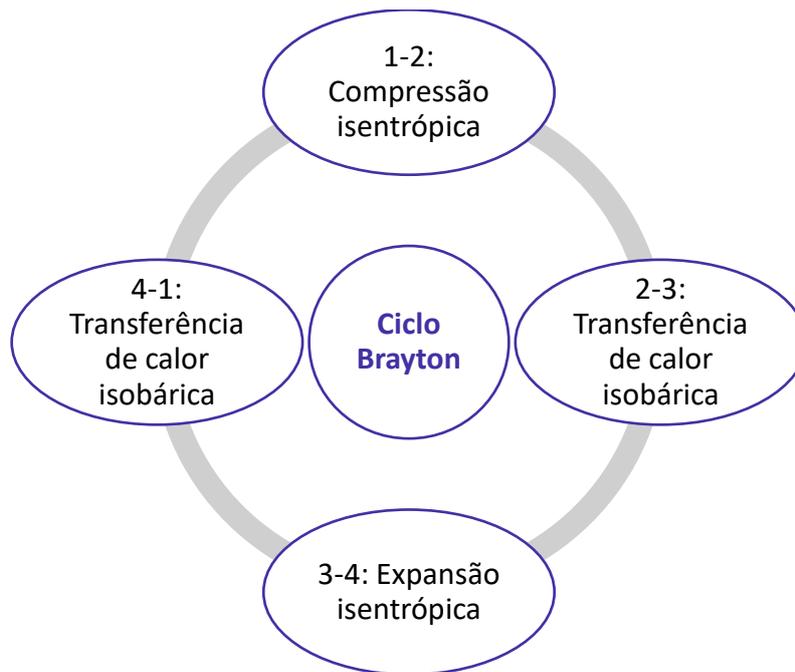
- Utilização
  - Estacionários: acionamento de máquinas estacionárias: geradores, motobombas...
  - Industriais: acionamento de máquinas agrícolas ou de construção civil: guindastes, tratores, carregadeiras, compressores de ar...



- Veiculares: acionamento de veículos de transporte em geral: carros, ônibus, caminhões e aeronaves.
- Marítimos: acionamento de barcos e máquinas de uso naval.
- Movimento do pistão
  - Alternativos (ciclo Otto e Diesel).
  - Rotativos (Turbina a gás, Wankel).
- Fases dos ciclos de trabalho
  - Dois tempos: pistão percorre 2 cursos para percorrer o ciclo, correspondendo a 1 volta na manivela. Apresentam sistema mecânico mais simples com ausência de válvula e eixo de comando. A alimentação não tão boa quanto em motores 4 tempos ocorrendo perda de mistura no escape e presença de lubrificante.
  - Quatro tempos: pistão percorre 4 cursos, que correspondem a duas voltas da manivela do motor. Apresentam sistema mecânico mais complexo, boa alimentação e boa lubrificação.
- Número de cilindros.
  - Monocilíndricos.
  - Policilíndricos.
- Disposição dos cilindros.
  - Em linha.
  - Em V.
  - Opostos (motor boxer).
  - Radiais.

## 7 - Ciclo Brayton





### Razão de pressão

$$r_p = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_3}{P_4}$$

### Eficiência Térmica

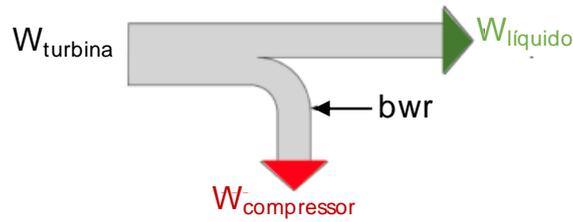
$$\eta = \frac{\dot{W}_{turb}/\dot{m} - \dot{W}_{comp}/\dot{m}}{\dot{Q}_{entra}/\dot{m}} = \frac{(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)}{h_3 - h_2}$$

### Back Work Ratio



$$bwr = \frac{\dot{W}_{comp}/\dot{m}}{\dot{W}_{turb}/\dot{m}} = \frac{h_2 - h_1}{h_3 - h_4}$$

Razões de trabalho reversos típicos em turbinas a gás variam entre 40% e 80%.



## 8 - Ciclo Stirling

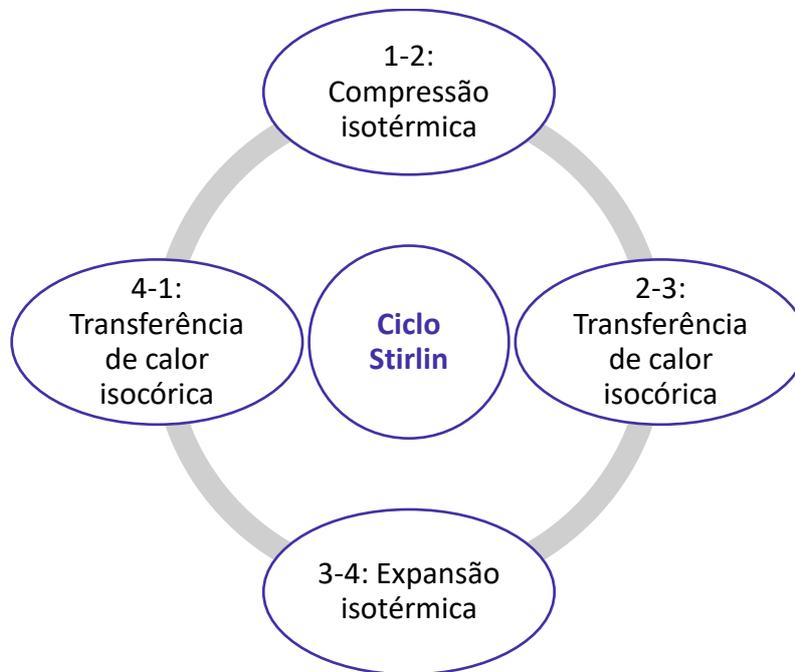
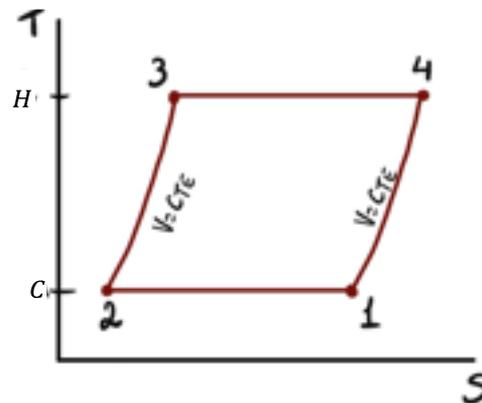
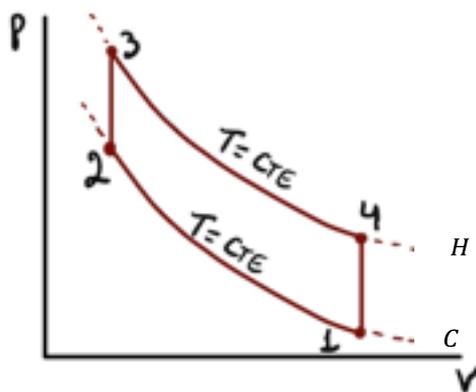


Diagrama p-v e T-s



- **Eficiência térmica do ciclo de Stirling** pode ser calculada pela **mesma equação utilizada para o ciclo de Carnot**.

As vantagens do motor Stirling são:

- Menor poluição comparado com motores ciclo Diesel e ciclo Otto.
- Silencioso com baixa vibração.
- Multi-combustível (gasolina, etanol, metanol, GLP, Energia Solar, biogás...)

Os motores Stirling possuem desvantagens também e a principal dela é o fato de que não se consegue variar a rotação rapidamente em motor que opere neste ciclo, ou seja, uma rápida aceleração, ganho de rotação, não é viável, sendo assim normalmente o motor Stirling opera em baixas rotações.



# ESSA LEI TODO MUNDO CONHECE: PIRATARIA É CRIME.

Mas é sempre bom revisar o porquê e como você pode ser prejudicado com essa prática.



**1** Professor investe seu tempo para elaborar os cursos e o site os coloca à venda.



**2** Pirata divulga ilicitamente (grupos de rateio), utilizando-se do anonimato, nomes falsos ou laranjas (geralmente o pirata se anuncia como formador de "grupos solidários" de rateio que não visam lucro).



**3** Pirata cria alunos fake praticando falsidade ideológica, comprando cursos do site em nome de pessoas aleatórias (usando nome, CPF, endereço e telefone de terceiros sem autorização).



**4** Pirata compra, muitas vezes, clonando cartões de crédito (por vezes o sistema anti-fraude não consegue identificar o golpe a tempo).



**5** Pirata fere os Termos de Uso, adultera as aulas e retira a identificação dos arquivos PDF (justamente porque a atividade é ilegal e ele não quer que seus fakes sejam identificados).



**6** Pirata revende as aulas protegidas por direitos autorais, praticando concorrência desleal e em flagrante desrespeito à Lei de Direitos Autorais (Lei 9.610/98).



**7** Concurseiro(a) desinformado participa de rateio, achando que nada disso está acontecendo e esperando se tornar servidor público para exigir o cumprimento das leis.



**8** O professor que elaborou o curso não ganha nada, o site não recebe nada, e a pessoa que praticou todos os ilícitos anteriores (pirata) fica com o lucro.



Deixando de lado esse mar de sujeira, aproveitamos para agradecer a todos que adquirem os cursos honestamente e permitem que o site continue existindo.