

# Sustentabilidade Energética

(Ano lectivo 2017/18 - Noções básicas sobre energia)

Jorge Maia Alves

**Se queremos discutir seriamente sustentabilidade energética, precisamos de começar por tornar claros quatro conceitos fundamentais:**

**Energia**

**Trabalho**

**Calor**

**Potência**

# O que entendemos por ENERGIA?

**é um termo demasiado utilizado...**

**A energia psíquica ou "psicoenergia" positiva, neutra, ou negativa é gerada pela mente e pelas emoções das pessoas.**

**A mente recebe ou cria ideias e imagens e a emoção vibra dando-lhes força.**

(Fonte: [http://www.mundoespiritual.com.br/influencias.energeticas.htm#Masaru\\_Emoto](http://www.mundoespiritual.com.br/influencias.energeticas.htm#Masaru_Emoto))

**não é bem disto que estamos a falar...**



## A definição de um Nobel da Física...

There is a fact, or if you wish, a law, governing natural phenomena that are known to date. There is no known exception to this law; it is exact, so far we know. The law is called conservation of energy; it states that there is a certain quantity, which we call energy, that does not change in manifold changes which nature undergoes. That is a most abstract idea, because it is a mathematical principle; it says that there is a numerical quantity, which does not change when something happens. It is not a description of a mechanism, or anything concrete; it is just a strange fact that we can calculate some number, and when we finish watching nature go through her tricks and calculate the number again, it is the same.

—*The Feynman Lectures on Physics*

## **A definição de um Nobel da Física...**

**Parece à primeira vista um conceito não muito diferente do anterior!**

**Mas existe uma enorme diferença: esta quantidade, mesmo aparentemente abstracta, pode medir-se, e expressa-se em Joule (J) no Sistema Internacional.**

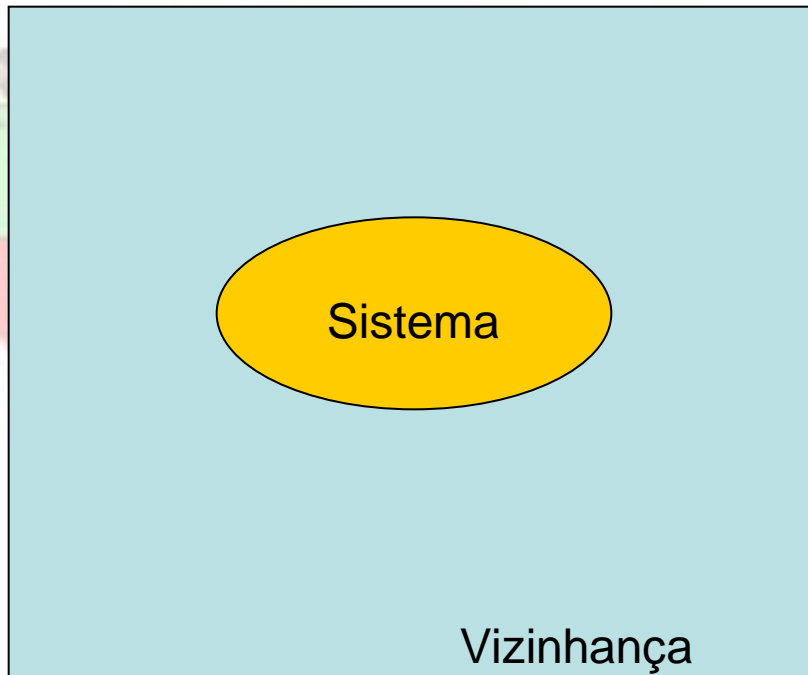
**A Termodinâmica descreve esta lei de conservação através do seu 1º princípio:**

**A energia interna de um sistema isolado é constante**

$$U_{\text{isolado}} = \text{constante} \quad \text{ou} \quad \Delta U_{\text{isolado}} = 0$$

**é claro que um sistema isolado não é o sistema mais interessante do mundo...**

**Então e se o sistema não estiver isolado?**

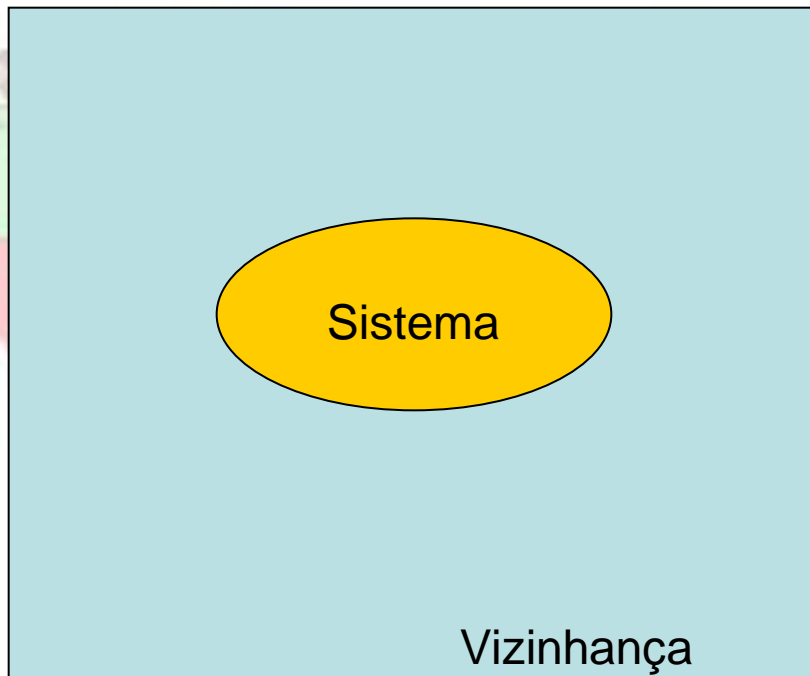


**o primeiro princípio diz-nos agora que:**

$$U_{\text{sistema}} + U_{\text{vizinhança}} = \text{constante !}$$

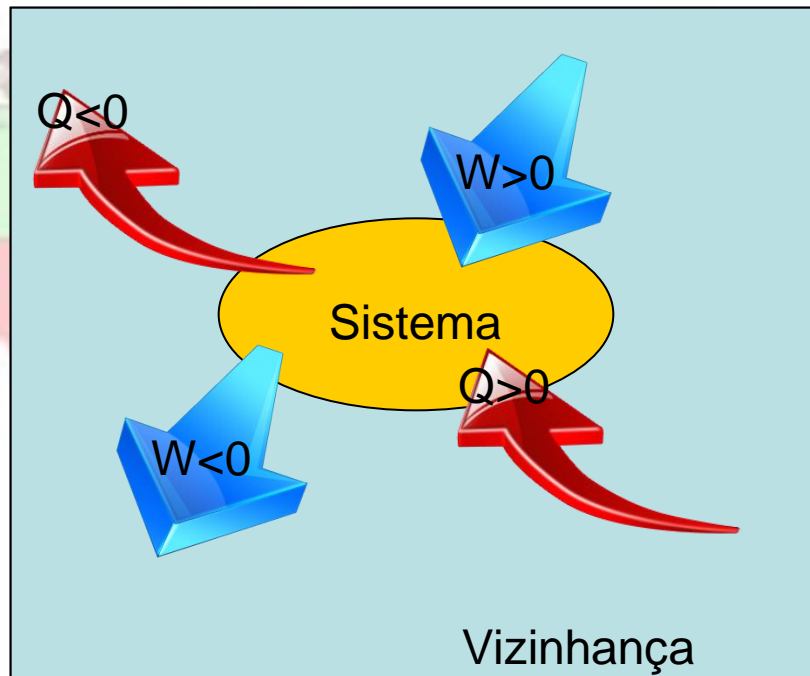


**parece desinteressante, mas...**



**em geral, existem trocas de energia entre o sistema e a vizinhança...**

**parece desinteressante, mas...**



**estas trocas de energia entre o sistema e a vizinhança podem dar-se de duas formas: trabalho (W) ou calor (Q)**

**concretizemos com um exemplo clássico:**

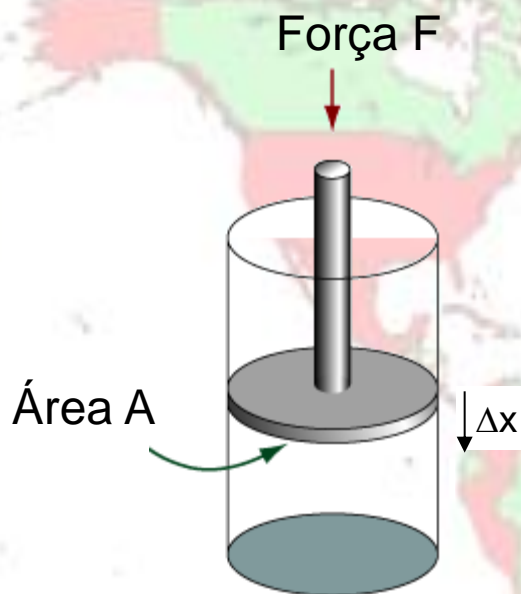
sabemos da Mecânica que o trabalho realizado por uma força é:

$$W = F_{\parallel} \cdot \Delta x$$

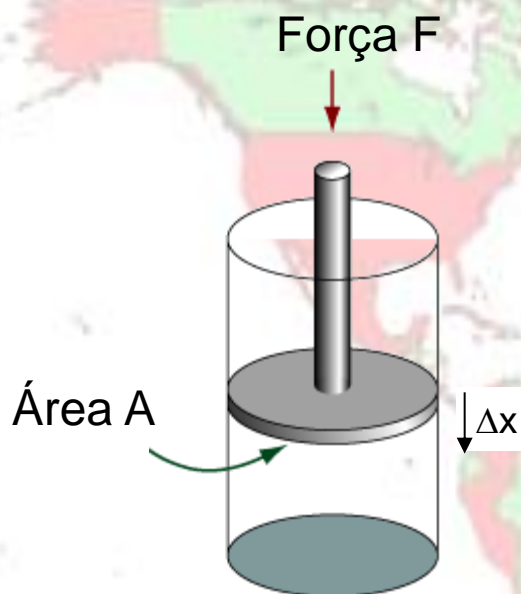
por definição de pressão:  $p = F/A$

ou seja, quando aplicamos a força  $F$  e provocamos um deslocamento  $\Delta x$ , estamos a aumentar a energia do gás de uma quantidade:

$$W = -pA\Delta x = -p\Delta V$$



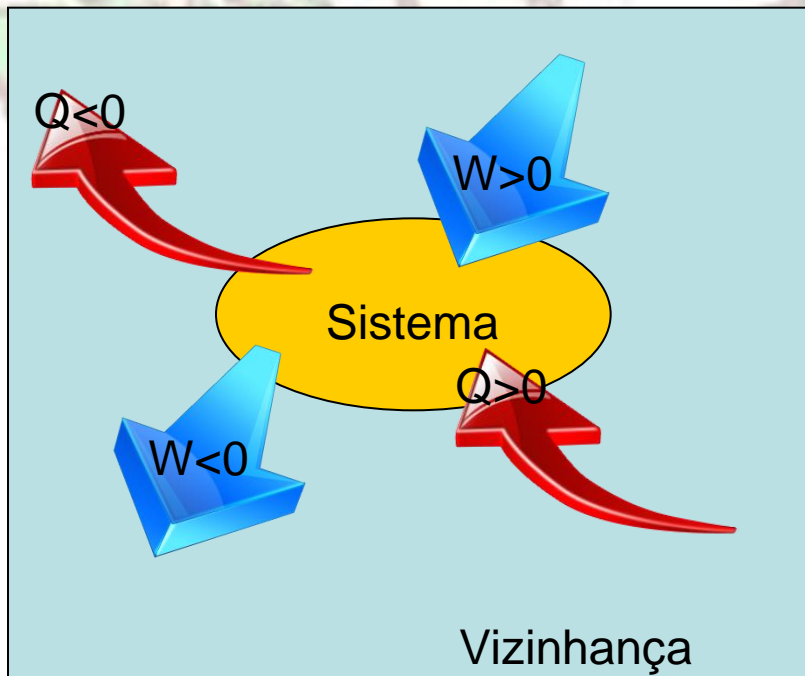
**concretizemos com um exemplo clássico:**



**se tivermos conseguido fazer apenas isto sobre o sistema (gás), ou seja, se não houver atrito, e o processo for infinitamente lento, a energia interna do sistema terá aumentado de  $W$ , e poderíamos voltar ao estado inicial libertando o êmbolo...**

**na prática... nunca conseguimos!**

**este é um exemplo de troca de energia entre um sistema e a sua vizinhança sob a forma de trabalho mecânico...**



**...mas poderíamos estar a falar de outro tipo de trabalho: eléctrico, magnético...**



## E quanto ao calor?

A natureza do calor foi difícil de compreender.

### Séc. XVIII – Teoria do Calórico

O calor é uma substância sem peso, constituída por partículas que se repelem entre si e são atraídas pela matéria.

**...uma teoria que nos parece tão estranha como provavelmente algumas das que aceitamos hoje parecerão no futuro!**

**E quanto ao calor?**

**A definição de calórico implica a sua conservação**

Nesta época existe, por exemplo, uma grande confusão entre “calor” e “temperatura”

**...será que não existe ainda hoje na cabeça de muita gente?**

## E quanto ao calor?

**A primeira grande machadada na teoria do calórico é dada numa oficina de material de guerra:**

Enquanto os canhões eram furados com uma broca observava-se que eram libertadas grandes quantidades de “calórico” (o arrefecimento da broca tinha que ser feito com água, que tinha que ser frequentemente mudada porque fervia!)

**...afinal era possível criar “calórico”!**





## **E quanto ao calor?**

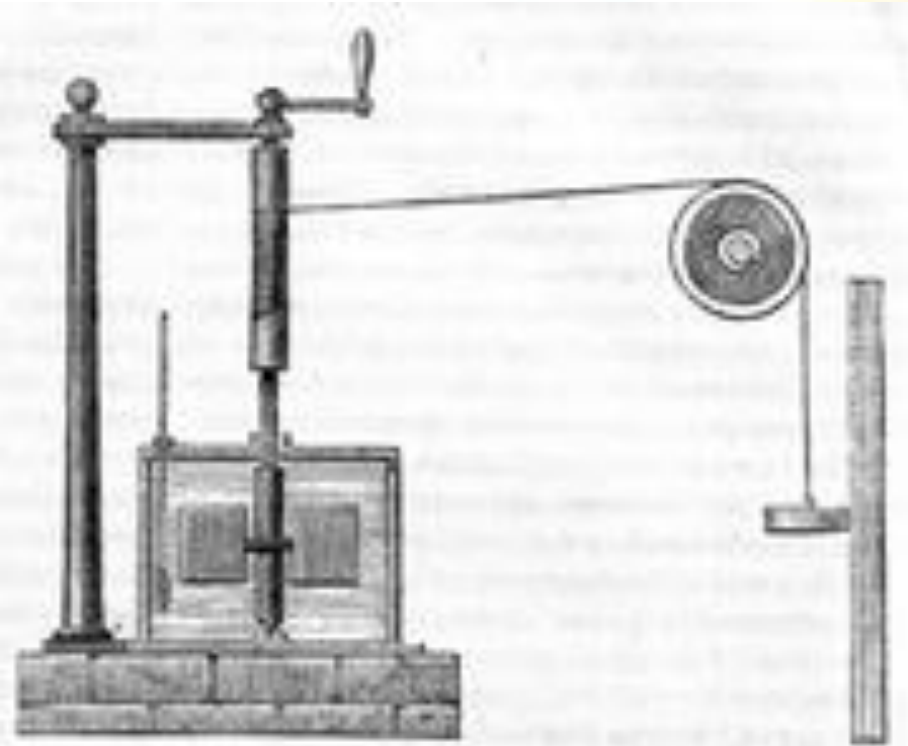
**Esta “experiência” foi da maior importância porque pela primeira vez tornou claro que podemos converter trabalho em calor**

**...e não é difícil perceber que os nossos sistemas de energia, ainda hoje, têm que lidar muitas vezes com o problema inverso, que está longe de ser tão simples, de converter calor em trabalho!**

## Determinação do equivalente mecânico da caloria

Feita por Joule, perto do final do Séc. XIX

A caloria estava definida como sendo a quantidade de calor necessária para elevar de um grau centígrado a temperatura de 1g de água



Joule determina o equivalente mecânico da caloria obtendo  $4,18 \text{ Jcal}^{-1}$

## Determinação do equivalente mecânico da caloria

**Fica assim definitivamente provado que calor e trabalho são duas formas de transferência de energia (entre um sistema e a sua vizinhança).**

**...mas qual a diferença entre estas duas formas de transferência de energia?**

**Quando temos dúvidas não há nada como imaginar... uma experiência “tonta”...**



**Quanta energia transferimos para um relógio de cuco quando lhe damos corda?**

**Quando temos dúvidas não há nada como imaginar... uma experiência “tonta”...**



**Quando dou corda ao relógio estou a transferir energia que ele está a armazenar (e que vai ser utilizada para ele se manter em funcionamento)**

**Quando temos dúvidas não há nada como imaginar... uma experiência “tonta”...**



**Suponhamos que o peso tem uma massa de 1kg, e o subimos de 1m...**

$$\begin{aligned} W &= F \cdot \Delta x = 9,8\text{N} \times 1\text{m} \\ &= 9,8 \text{ Nm} \\ &= 9,8 \text{ J} \end{aligned}$$

**Quando temos dúvidas não há nada como imaginar... uma experiência “tonta”...**



**É possível transferir a mesma quantidade de energia para o relógio de outra forma?**

**Claro que sim!**

**Quando temos dúvidas não há nada como  
imaginar... uma experiência “tonta”...**



**Suponhamos que o  
peso é feito de  
material cujo calor  
específico (c) é de 1  
 $\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$**

**Temperatura termodinâmica  $T_k = T_c + 273,1$**



**Quando temos dúvidas não há nada como  
imaginar... uma experiência “tonta”...**



**Isto significa que para  
eu fazer variar a  
temperatura do peso  
de um grau tenho que  
lhe fornecer 1kJ de  
calor**

**Quando temos dúvidas não há nada como  
imaginar... uma experiência “tonta”...**



**Portanto, se eu quero  
fornecer-lhe 9,8J  
basta colocá-lo no  
forno e fornecer-lhe  
calor até que a sua  
temperatura varie de:**

$$\frac{9,8J}{1kJ} \approx 10 \times 10^{-3} K$$

**Quando temos dúvidas não há nada como  
imaginar... uma experiência “tonta”...**



**Já agora ficam a saber  
um valor importante:**

$$C_{\text{água}} = 4,1413 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

(no estado líquido, a 25°C)

**Onde quero chegar com esta  
brincadeira?**

## Conclusão:

**Calor e trabalho têm diferente “qualidade”, no sentido em que, em geral, não nos são igualmente úteis.**

**...de facto, podemos tirar muito mais partido de transferências de energia sob a forma de trabalho porque esta é uma forma mais “organizada” de transferir energia.**

## Porquê?

### Dar corda

Efectuar uma translação a um conjunto de átomos que vêm a sua energia potencial gravítica aumentada.



### Aquecer

Transferir a mesma energia directamente para as vibrações atómicas internas do sistema.

A diferença tem claramente que ver com ordem versus desordem.

## Porquê?

**Praça do Comércio com  
uma bola no meio e...**

**As mesmas 300  
pessoas que fazem o  
mesmo quando  
passam pela bola,  
mas que agora se  
deslocam numa  
parada militar...**

**300 pessoas a  
passear, que de cada  
vez que passam perto  
da bola a deslocam  
1m na direcção em  
que vão a andar...**

## Resumindo:

**O 1º princípio da Termodinâmica diz-nos que a energia se conserva**

**...mas que pode ser transferida sob a forma de calor ou trabalho**

**Vamos agora ter que falar no 2º princípio**

**Este princípio ensina-nos quais são as transferências de energia que ocorrem espontaneamente**

**...mais uma vez a Termodinâmica postula a existência de uma grandeza (a entropia –  $S$ ) que, espontaneamente, tenderá para um máximo no equilíbrio**



## Vamos agora ter que falar no 2º princípio

**Este princípio ensina-nos quais são as transferências de energia que ocorrem espontaneamente**

**Quer isto dizer que, sempre que há uma variação do estado de um sistema, verifica-se que**

$$\Delta S_{\text{global}} = \Delta S_{\text{sistema}} + \Delta S_{\text{vizinhança}} \geq 0$$

**Vamos agora ter que falar no 2º princípio**

**Este princípio ensina-nos quais são as transferências de energia que ocorrem espontaneamente**

**Esta grandeza tem unidades de energia por grau ( $J K^{-1}$ ) e é uma medida da desordem**

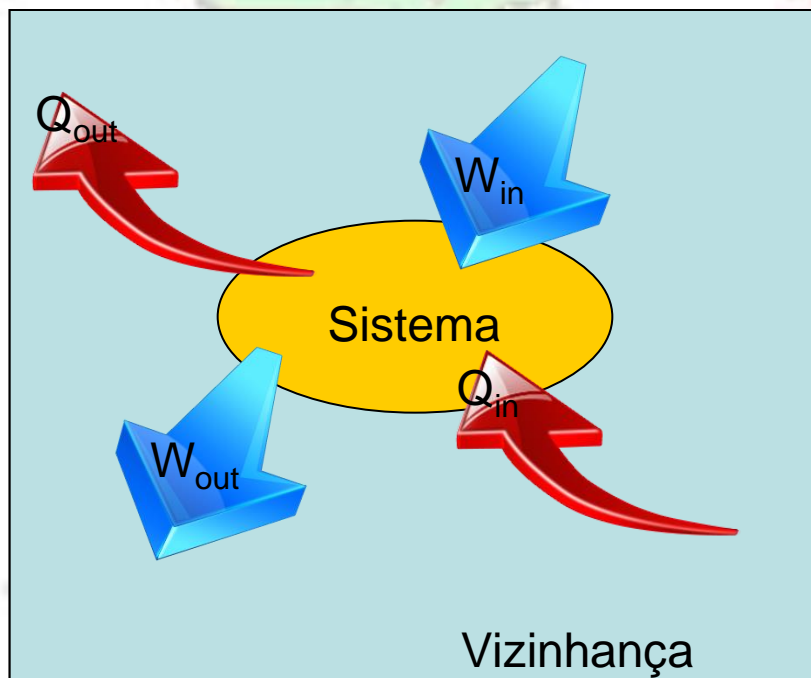
**Vamos agora ter que falar no 2º princípio**

**Este princípio ensina-nos quais são as transferências de energia que ocorrem espontaneamente**

**O que significa que o 2º princípio nos diz que a tendência natural das coisas é no sentido de, globalmente, se verificar um aumento da desordem...**

## Resumindo:

# Os dois primeiros princípios da Termodinâmica dizem-nos que:



$$W_{in} + Q_{in} = W_{out} + Q_{out} \quad (1^{\circ} \text{ princ.})$$

$$\frac{Q_{in}}{T_{in}} \leq \frac{Q_{out}}{T_{out}} \quad (2^{\circ} \text{ princ.})$$

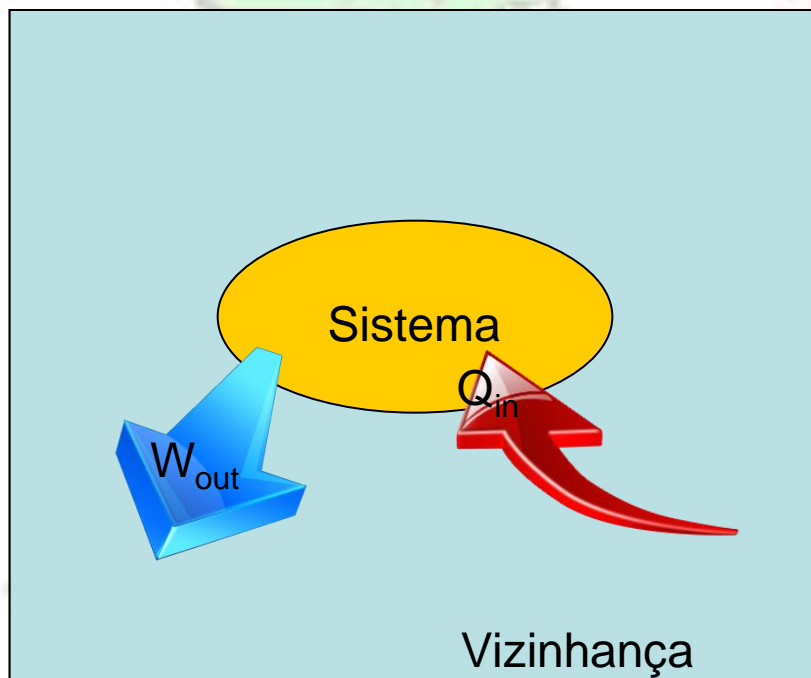
**Estes princípios parecem pouco úteis, mas pensemos num caso concreto:**

Suponhamos que pretendo transformar directamente calor em trabalho, ou seja, que quero fazer uma máquina que receba apenas calor ( $W_{in} = 0$ ,  $Q_{in} \neq 0$ ) e produza apenas trabalho ( $W_{out} \neq 0$ ,  $Q_{out} = 0$ )

**O que nos dizem as relações anteriores sobre este processo?**

**Aplicando as relações, concluimos que**

**Os dois primeiros princípios da Termodinâmica dizem-nos que:**



$$Q_{in} = W_{out}$$

$$\frac{Q_{in}}{T_{in}} \leq \frac{Q_{out}}{T_{out}} = 0 \quad (\text{pq quero } Q_{out}=0)$$

a única solução possível é:

$$Q_{in} = W_{out} = 0$$

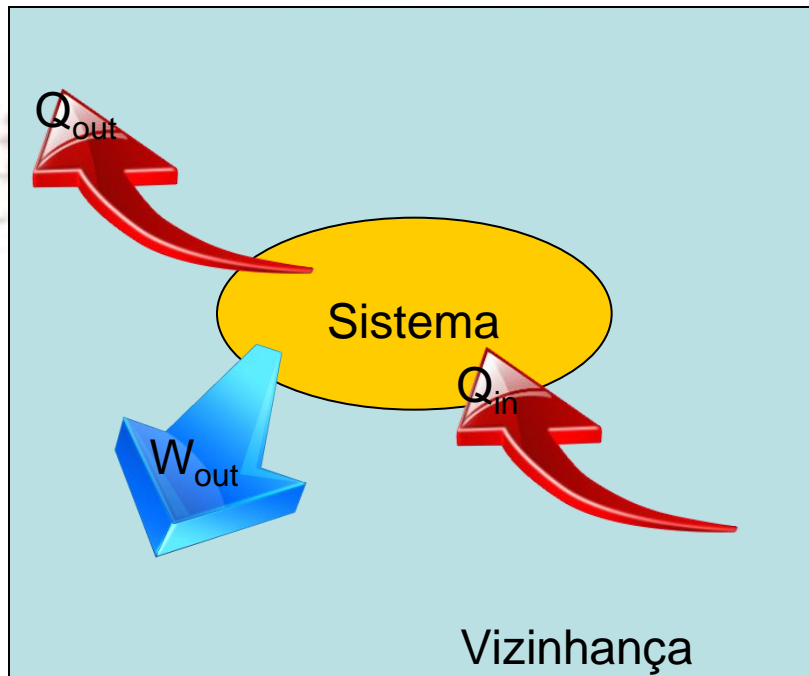
O que quer dizer que o que pretendo fazer é impossível!

**É por isso que o 2º princípio da Termodinâmica pode ser enunciado da seguinte maneira:**

**Não é possível construir uma máquina térmica que, funcionando em ciclo, absorva uma quantidade de calor de uma fonte quente e a transforme na sua totalidade em trabalho.**

**Enunciado de Kelvin-Planck**

**Vejam os outros exemplos:**



$$Q_{in} = W_{out} + Q_{out}$$

$$\frac{Q_{in}}{T_{in}} \leq \frac{Q_{out}}{T_{out}}$$

$$W_{out} = Q_{in} - Q_{out}$$

$$\frac{Q_{in}}{T_{in}} \leq \frac{Q_{out}}{T_{out}}$$

Só temos solução ( $W_{out} > 0$ ) se:

$$Q_{in} > Q_{out} \quad \frac{Q_{in}}{T_{in}} \leq \frac{Q_{out}}{T_{out}} \Rightarrow T_{in} > T_{out}$$



**A conclusão é que:**

**O 2º princípio permite-nos portanto prever quais são as mudanças de estado possíveis para um sistema.**

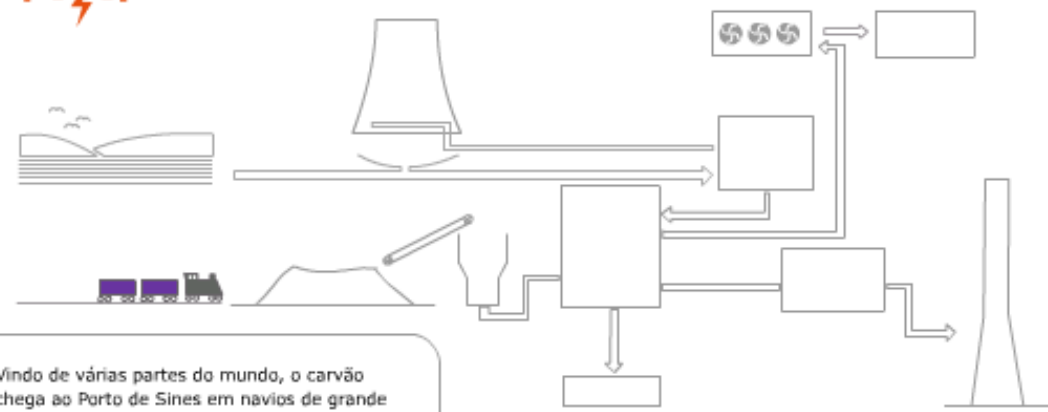
**Para que é que tudo isto nos serve?**

**Pensemos, por exemplo, numa central térmica para produção de electricidade...**



Início > A Central > Funcionamento da Central

### Funcionamento da Central



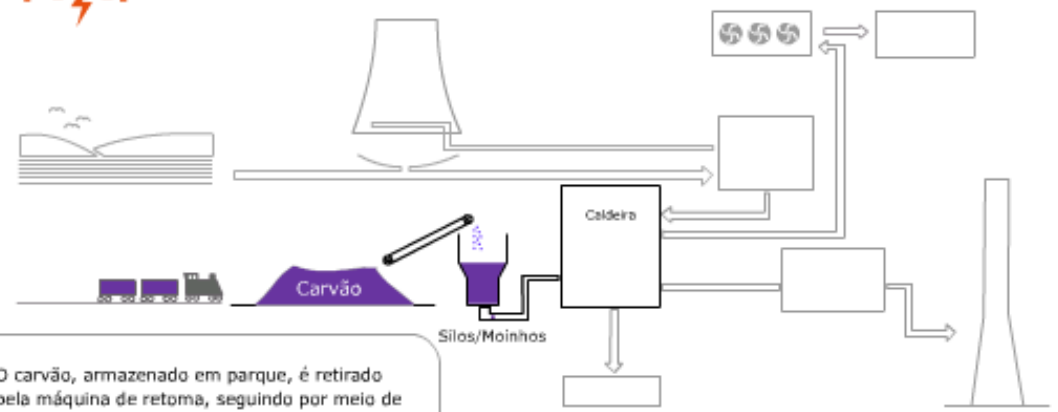
Vindo de várias partes do mundo, o carvão chega ao Porto de Sines em navios de grande tonelagem. O seu transporte até à Central do Pego é efectuado por via férrea.

Procura:



Início > A Central > Funcionamento da Central

### Funcionamento da Central



O carvão, armazenado em parque, é retirado pela máquina de retoma, seguindo por meio de tapetes transportadores para os silos metálicos.

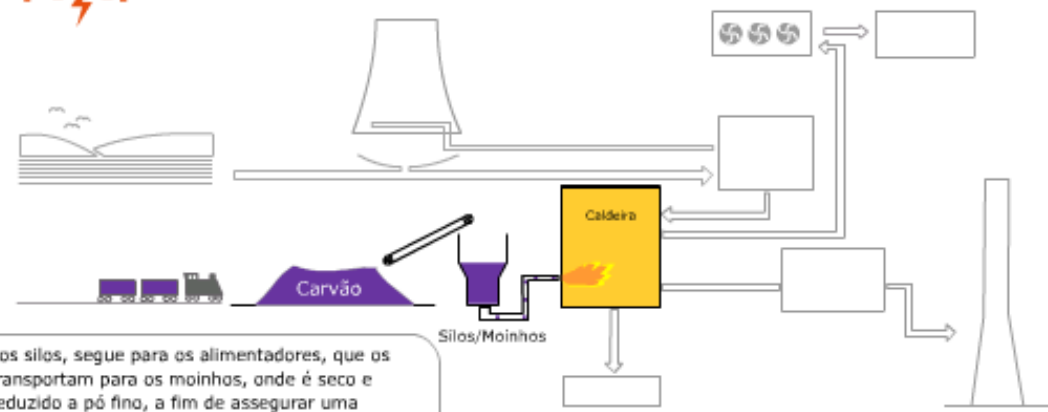


Procura:



Início > A Central > Funcionamento da Central

### Funcionamento da Central



dos silos, segue para os alimentadores, que os transportam para os moinhos, onde é seco e reduzido a pó fino, a fim de assegurar uma combustão completa na câmara de combustão (caldeira). O ar quente existente na parte superior do edifício da caldeira é aspirado por ventiladores, e utilizado para transportar o pó de carvão, para os queimadores e para alimentar a queima.

Procura:



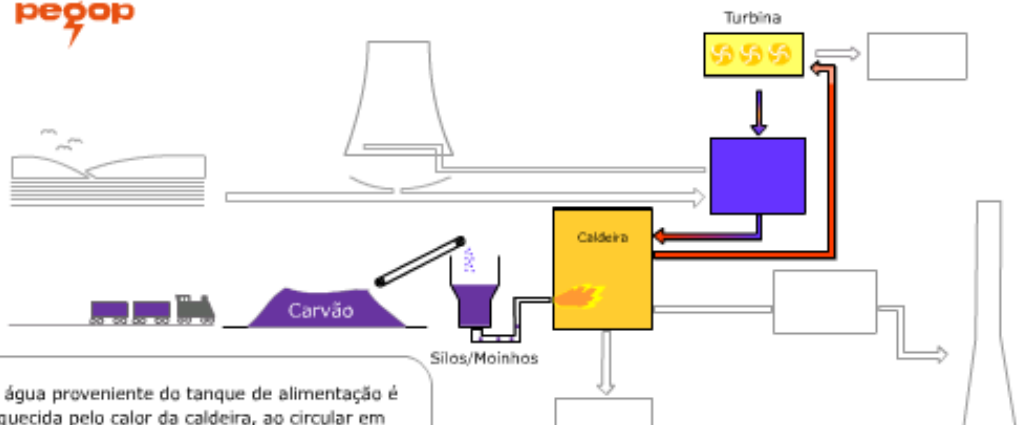
| English Version |

- > Início
- Empresas
- A Central
- Segurança e Ambiente
- Visitas
- Contactos
- Links



Início > A Central > Funcionamento da Central

### Funcionamento da Central



A água proveniente do tanque de alimentação é aquecida pelo calor da caldeira, ao circular em tubos no seu interior, e é transformada em vapor, que é canalizado para a turbina.

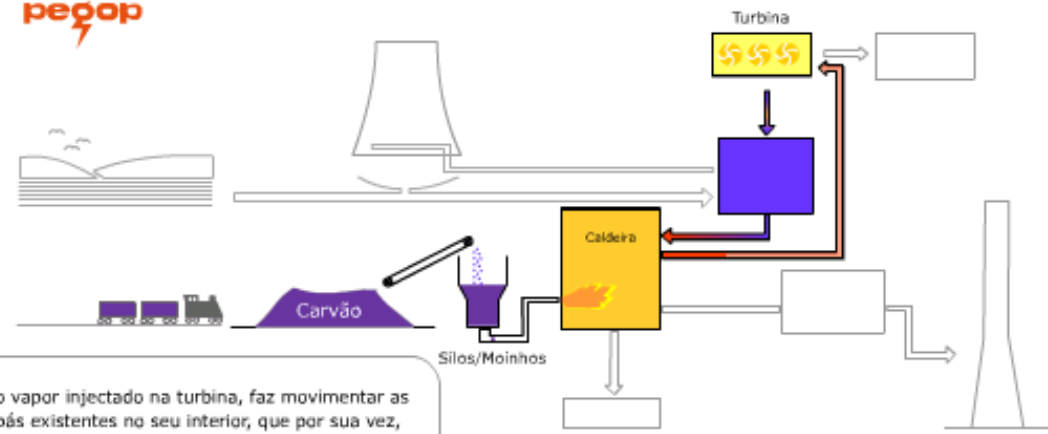


Procura:



Início > A Central > Funcionamento da Central

### Funcionamento da Central



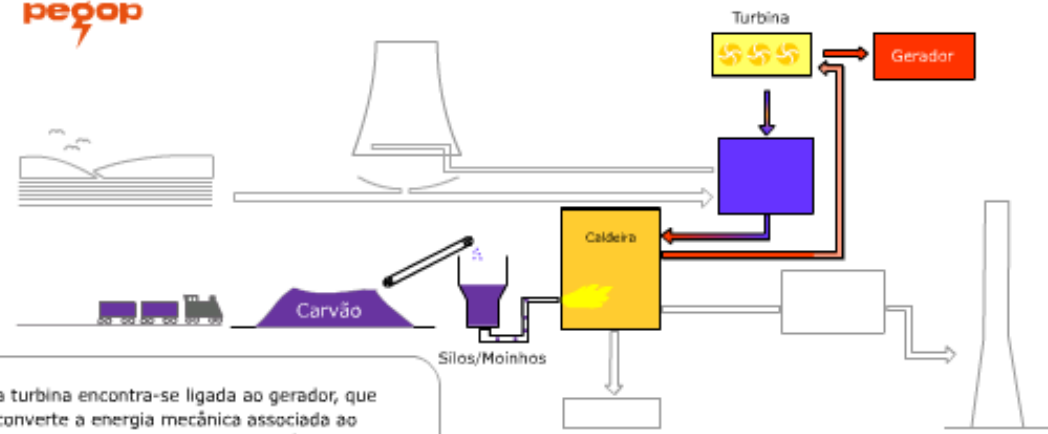
o vapor injectado na turbina, faz movimentar as pás existentes no seu interior, que por sua vez, imprimem um movimento de rotação ao veio a que estão acopladas.

Procura:



Início > A Central > Funcionamento da Central

### Funcionamento da Central



a turbina encontra-se ligada ao gerador, que converte a energia mecânica associada ao movimento do veio, em energia eléctrica. Esta, após passagem num transformador de grande capacidade, é colocada na rede eléctrica nacional.

Procura:

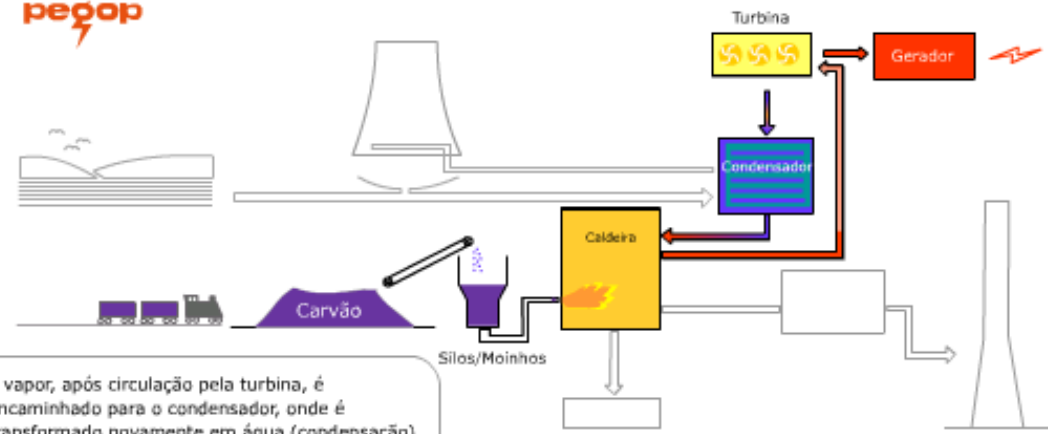


- > Início
- Empresas
- A Central
- Segurança e Ambiente
- Visitas
- Contactos
- Links



Início > A Central > Funcionamento da Central

### Funcionamento da Central



o vapor, após circulação pela turbina, é encaminhado para o condensador, onde é transformado novamente em água (condensação) que é reenviada para o tanque de alimentação, reiniciando-se assim o ciclo. A condensação efectua-se através da troca de calor entre o vapor e a água de refrigeração, que circula em tubos no interior do condensador



Procura:





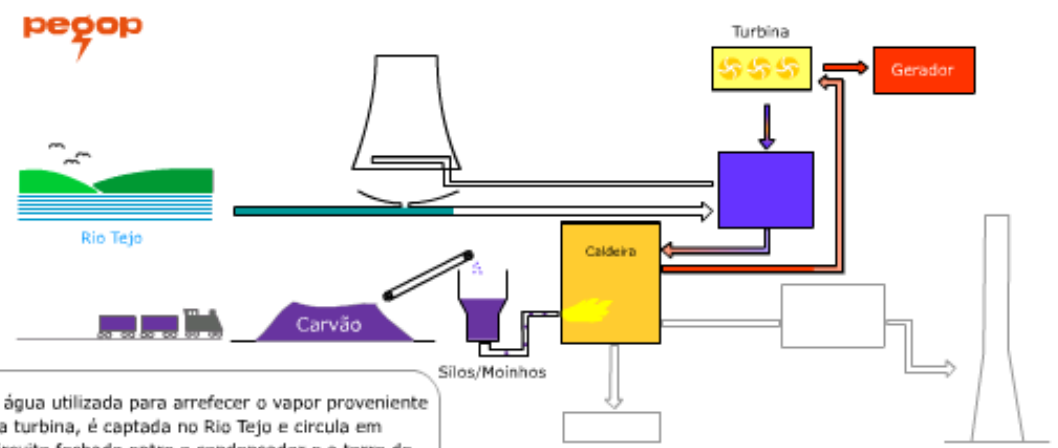
| English Version |

- > Início
- Empresas
- A Central
- Segurança e Ambiente
- Visitas
- Contactos
- Links



Início > A Central > Funcionamento da Central

### Funcionamento da Central



a água utilizada para arrefecer o vapor proveniente da turbina, é captada no Rio Tejo e circula em circuito fechado entre o condensador e a torre de refrigeração. Esta água ao arrefecer o vapor sobe de temperatura, pelo que tem de ser pulverizada na torre de refrigeração, onde é arrefecida pelo ar que aí circula.

Procura:

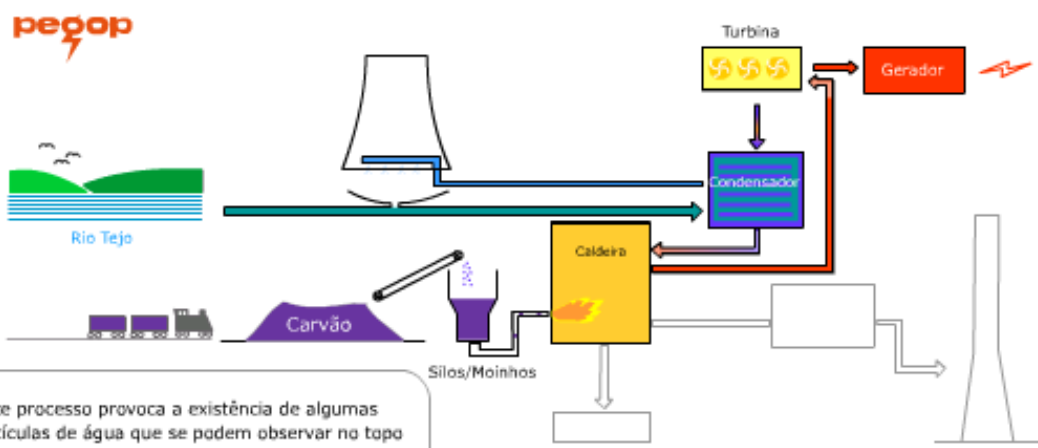


- > Início
- Empresas
- A Central
- Segurança e Ambiente
- Visitas
- Contactos
- Links



Início > A Central > Funcionamento da Central

### Funcionamento da Central



Este processo provoca a existência de algumas gotículas de água que se podem observar no topo da torre, como uma nuvem de vapor.

Procura:



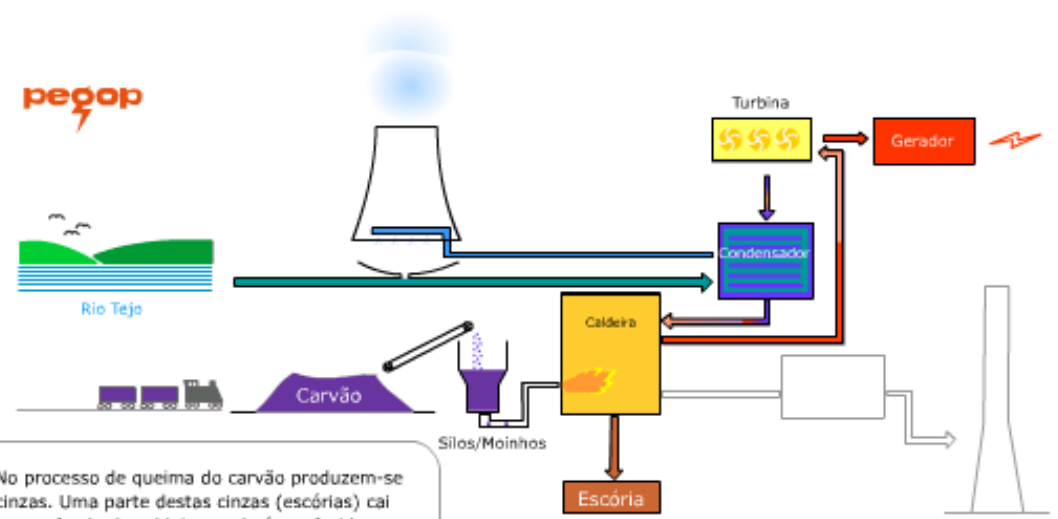
| English Version |

- > Início
- Empresas
- A Central
- Segurança e Ambiente
- Visitas
- Contactos
- Links



Início > A Central > Funcionamento da Central

### Funcionamento da Central



No processo de queima do carvão produzem-se cinzas. Uma parte destas cinzas (escórias) cai para o fundo da caldeira, onde é arrefecida por água e transportada em camiões para o parque de cinzas.

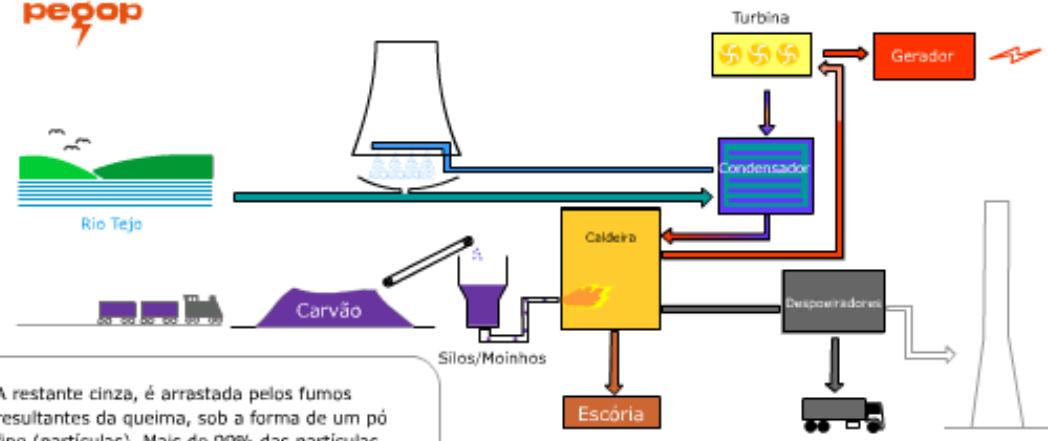


Procura:



Início > A Central > Funcionamento da Central

### Funcionamento da Central



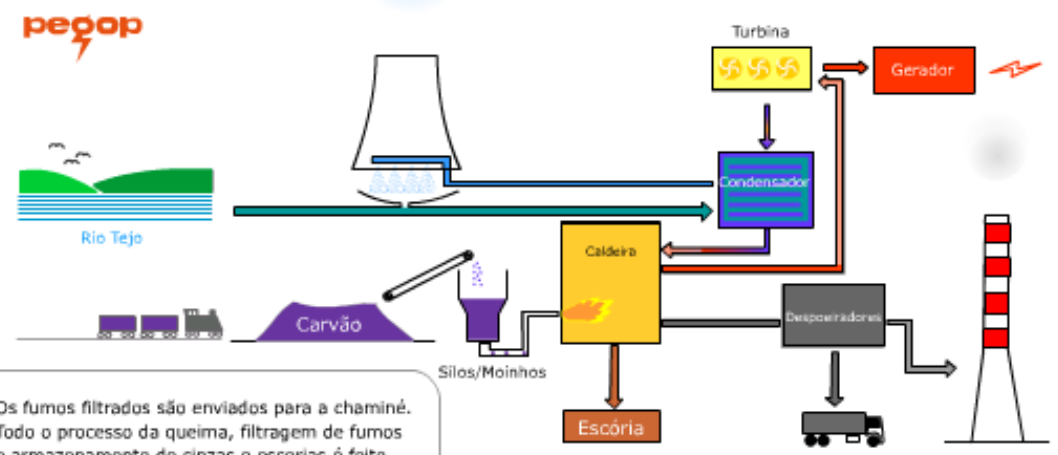
A restante cinza, é arrastada pelos fumos resultantes da queima, sob a forma de um pó fino (partículas). Mais de 99% das partículas são recolhidas pelos despoeiradores (filtros), e colocadas em silos, para serem vendidas para a construção civil (utilizadas na produção de cimento e betão).

Procura:



Início > A Central > Funcionamento da Central

### Funcionamento da Central



Os fumos filtrados são enviados para a chaminé. Todo o processo da queima, filtragem de fumos e armazenamento de cinzas e escórias é feito sob um rigoroso controle, por forma a minimizar os impactos ambientais.

Procura:

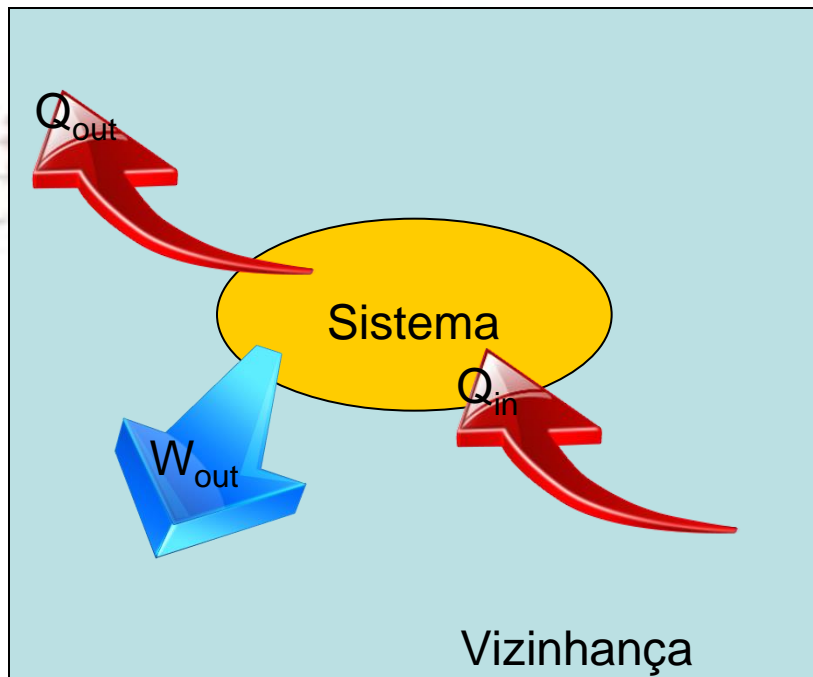
## Resumindo:

Quando estamos a *produzir* energia estamos a fazê-lo (quase sempre) recorrendo a uma máquina térmica que utiliza calor para produzir trabalho.

Estas máquinas têm rendimentos teóricos máximos porque calor é uma energia de pior qualidade (mais entropia).

**Posso calcular esse máximo?**

## Consideremos então uma máquina térmica:



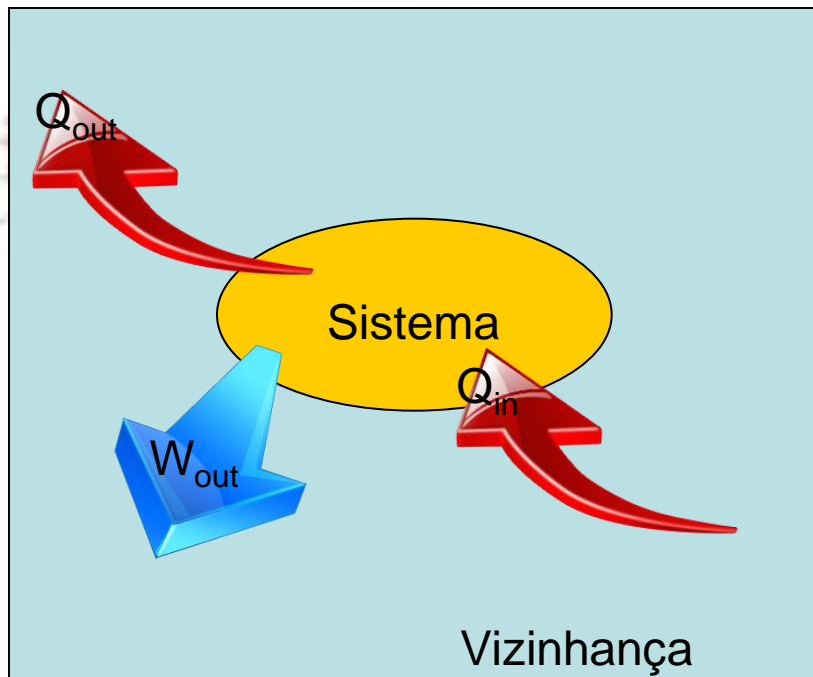
Como calcular o rendimento de uma máquina deste tipo?

O rendimento é sempre calculado da mesma maneira:

$$\eta = \frac{\text{o que obtenho}}{\text{o que pago}}$$

Neste caso: 
$$\eta = \frac{W_{out}}{Q_{in}}$$

## Consideremos então uma máquina térmica:



$$Q_{in} = W_{out} + Q_{out}$$

$$\frac{Q_{in}}{T_{in}} \leq \frac{Q_{out}}{T_{out}}$$

$$W_{out} = Q_{in} - Q_{out}$$

$$\frac{T_{out}}{T_{in}} \leq \frac{Q_{out}}{Q_{in}}$$

ou seja:

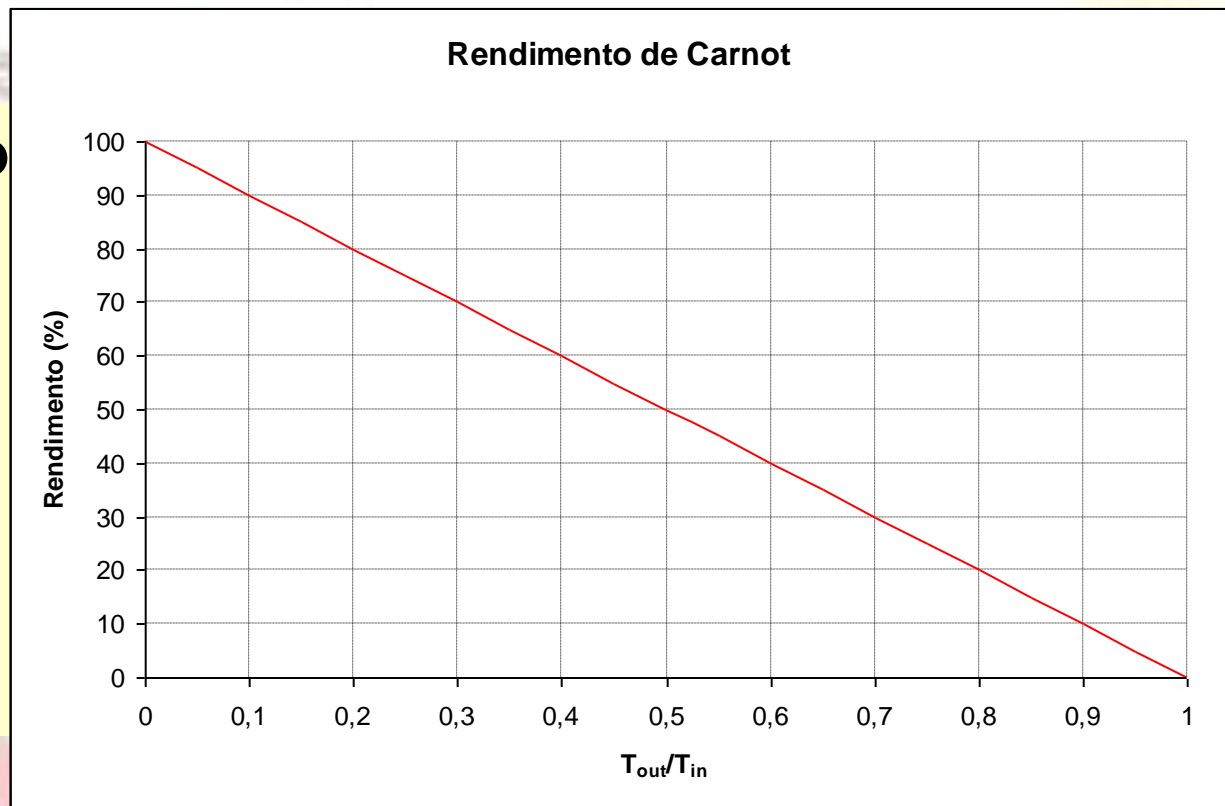
$$\eta = \frac{W_{out}}{Q_{in}} = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \leq 1 - \frac{T_{out}}{T_{in}}$$

**T expresso em Kelvin!**



## Consideremos então uma máquina térmica:

O valor máximo teórico para o rendimento de uma máquina térmica é conhecido por rendimento de Carnot



Atenção: este é o rendimento de uma máquina ideal!

**Qual terá que ser a temperatura da fonte quente de uma máquina de Carnot para que o seu rendimento seja de 50% se a temperatura da fonte fria for a temperatura ambiente?**

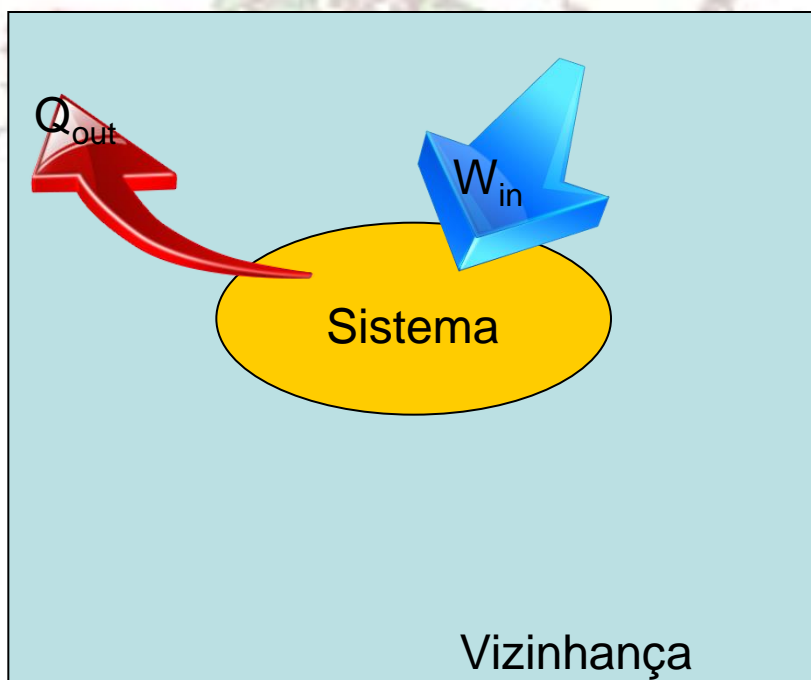
**Suponhamos uma temperatura ambiente da ordem de 20°C:**

$$T_{out} = 20^{\circ} C \approx 300K$$

$$T_{in} = 2T_{out} \approx 600K \approx 330^{\circ} C$$

**Atenção: numa central térmica típica a temperatura da fonte quente é desta ordem, mas os rendimentos reais são da ordem de 33%**

**E qual poderá ser o rendimento máximo de uma máquina que transforme trabalho em calor?**



$$W_{in} = Q_{out}$$

$$\left( \frac{Q_{in}}{T_{in}} \leq \frac{Q_{out}}{T_{out}} \right) \Rightarrow 0 \leq \frac{Q_{out}}{T_{out}}$$

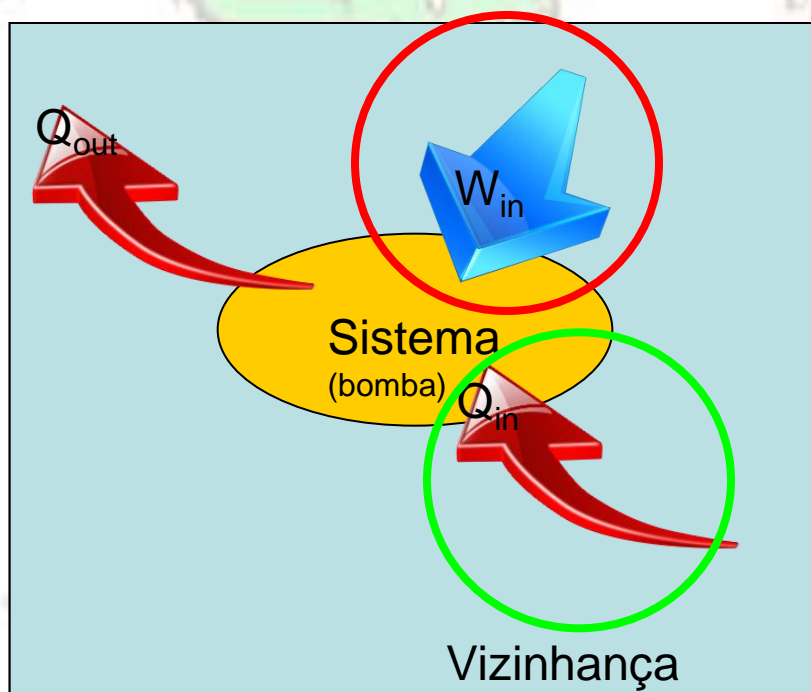
sempre verdade!

ou seja:

$$\eta = \frac{Q_{out}}{W_{in}} = 1$$

## Será este o melhor dos mundos?

Vejamos o que acontece com uma bomba de calor que estamos a querer utilizar para manter uma zona arrefecida:



$$W_{in} + Q_{in} = Q_{out}$$

$$\frac{Q_{in}}{T_{in}} \leq \frac{Q_{out}}{T_{out}}$$

ou seja:

$$\eta = \frac{Q_{in}}{W_{in}} = \frac{Q_{in}}{Q_{out} - Q_{in}} \leq \frac{T_{in}}{T_{out} - T_{in}}$$

**Concretizemos: qual será o rendimento máximo que uma bomba de calor pode ter, por exemplo, para manter a temperatura no interior de um frigorífico?**

**Suponhamos uma temperatura ambiente da ordem de 30°C:**

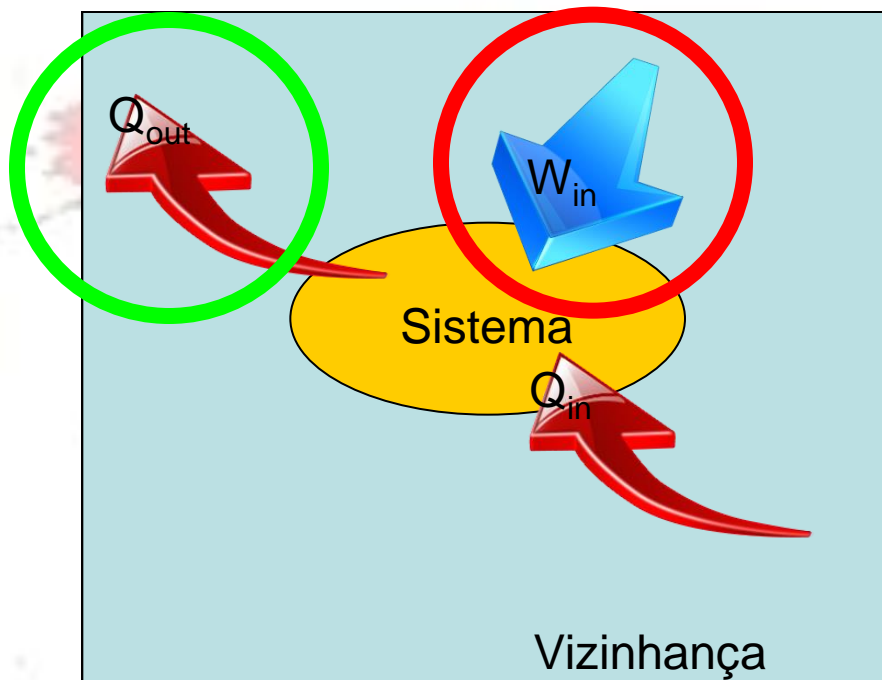
$$T_{in} \approx 0^\circ C \approx 273K$$

$$T_{out} \approx 30^\circ C \approx 303K$$

$$\eta \leq \frac{273}{303 - 273} = \frac{273}{30} \approx 9$$

**Nota: neste caso, em que estamos a bombear calor de uma zona mais fria para outra mais quente, o rendimento costuma chamar-se Summer Coefficient of Performance – (COP)<sub>s</sub>**

## E se quisermos aquecer uma casa no inverno?



$$W_{in} + Q_{in} = Q_{out}$$

$$\frac{Q_{in}}{T_{in}} \leq \frac{Q_{out}}{T_{out}}$$

ou seja:

$$\eta = \frac{Q_{out}}{W_{in}} = \frac{Q_{out}}{Q_{out} - Q_{in}} \leq \frac{T_{out}}{T_{out} - T_{in}}$$

**Concretizemos: qual será o rendimento máximo que uma bomba de calor pode ter, por exemplo, para aquecer uma casa no inverno?**

**Suponhamos uma temperatura interior de 25°C, e uma temperatura exterior de 10°C:**

$$T_{in} \approx 10^\circ C \approx 283K$$

$$T_{out} \approx 25^\circ C \approx 298K$$

$$\eta \leq \frac{298}{298 - 283} = \frac{298}{15} \approx 20$$

**Nota: neste caso o rendimento costuma chamar-se (COP)<sub>w</sub> – Winter Coefficient of Performance**

**Já falámos de energia, trabalho e calor.  
Falta-nos falar de potência:**

$$Potência = \frac{Energia}{Tempo} \quad [Js^{-1}] \equiv W \quad SI$$

**Porque é que a potência é importante?**



## **Pensemos, por exemplo,...**

**na entrada de um automóvel numa auto-estrada;**

**no lançamento de um vaivém espacial;**

**na climatização de uma sala;**

**Em qualquer dos casos o que acontece é que não temos todo o tempo do mundo para fazer as conversões ou trocas de energia que são necessárias!**

**Frequentemente, a potência que se pode obter de um processo de produção de energia é limitada por um de dois factores:**

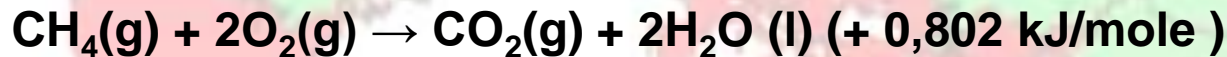
**pela velocidade das reacções (químicas, nucleares) a partir das quais é gerado o calor;**

**por uma taxa de transferência de calor num dado material...**

**e isso não é necessariamente mau!**

## **Vejam os dois exemplos:**

**Gás natural - principal constituinte é o metano, cuja combustão completa é descrita pela equação:**



( 0,802kJ/mole  $\sim 2,2 \times 10^{-4}$  kWh/mole )

**Produção de calor numa reacção nuclear:**



( 155,8MeV/átomo =  $2,5 \times 10^{-11}$  J/átomo  $\sim 1,3 \times 10^{13}$  J/mole  $\sim 4,2 \times 10^6$  kWh/mole )

**é claro que quanto maior for a velocidade das reacções maior a potência que podemos obter.**

## Conclusão:

Há uma taxa máxima a que eu consigo produzir calor que é determinada pela cinética das reacções.

frequentemente, essa taxa é tão elevada, que se eu não a controlar tudo acontece depressa demais...

## Exemplos:

**quando faço a queima de um gás não estou muito interessado que haja uma explosão...**

**prefiro que haja uma certa diferença entre um reactor nuclear e uma bomba atómica...**

**se estou a utilizar lenha numa lareira o que eu quero é uma combustão lenta.**

**Esse controlo da velocidade da reacção pode ser feito naturalmente através da condução de calor:**

**como a velocidade da reacção aumenta em geral com o aumento da temperatura...**

**se a condução de calor for muito lenta, pode ser isso que acaba por limitar a reacção**

## Queima de carvão:

**Carvão**

**não moído**

velocidade da queima é “controlada” pela condução de calor no próprio carvão

**moído**

posso otimizar a velocidade da queima para a aplicação que pretendo

**qual é o melhor processo?**

**depende do que pretendo...**

**Vamos agora discutir um pouco as unidades das grandezas de que estivemos a falar:**

No sistema internacional:

$$\text{Energia } [J] \Leftrightarrow [kgm^2s^{-2}]$$

$$\text{Potência} = \frac{\text{Energia}}{\text{Tempo}} [Js^{-1}] \equiv W \Leftrightarrow [kgm^2s^{-3}]$$



## 1 Joule é (aproximadamente):

a energia mecânica necessária para imobilizar uma massa de 1kg que se desloque a 5km/h;

a energia mecânica necessária para elevar a mesma massa 0,1m no campo gravítico terrestre;

a energia térmica necessária para aumentar duas milésimas de grau a temperatura de 0,1l de água;

a energia térmica necessária para descongelar três milésimas de mililitro de água;

a energia eléctrica necessária para manter uma lâmpada de 100W em funcionamento durante uma centésima de segundo;

O que quer dizer que o Joule não é a unidade mais adequada para o que queremos discutir...

## Os múltiplos do Joule:

kilojoule - kJ =  $10^3$  J

megajoule - MJ =  $10^6$  J

gigajoule - GJ =  $10^9$  J

terajoule – TJ =  $10^{12}$  J

petajoule – PJ =  $10^{15}$  J

exajoule – EJ =  $10^{18}$  J

## Ordens de grandeza de potência:

mosca a levantar voo –  $10^{-7}$  W;

batimento cardíaco humano – 1,5 W;

queima de um fósforo – 10 W;

potência de saída de um painel fotovoltaico de  $1\text{ m}^2$  típico – 100W;

potência desenvolvida por uma pessoa em esforço – 100W;

aquecedor eléctrico típico – 1,5kW;

automóvel compacto – 100kW;

paquete Queen Elizabeth – 200 000kW=2GW;

Boeing 747 em velocidade cruzeiro – 2,5GW;

## Ordens de grandeza de potência:

grande central térmica a carvão – 1GW (electricidade)

central hidroeléctrica cataratas Niagara – 2GW (electricidade);

Space Shuttle (descolagem) – 14GW;

toda a potência eléctrica produzida no mundo – 2000GW = 2TW;

automóveis americanos utilizados em simultâneo – 15TW;

fonte: Sustainable Energy –Chosing Among Options, J.W.Tester, (MIT-Press)

## É claro que existem outras unidades relevantes (muito usadas):

**quilowatt-hora –  $1\text{kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{J}$**

(energia utilizada por um sistema com 1kW de potência durante uma hora)

**electrão volt –  $1\text{eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{J}$  ( ~ energia de um fóton)**

**$1\text{erg} = 10^{-7} \text{J}$  (unidade do sistema CGS)**

**caloria –  $1\text{cal} = 4,19 \text{J}$**

**British Thermal Unit –  $1\text{BTU} = 1,06 \times 10^3 \text{J}$**

**amount of heat required to raise the temperature of one pound of liquid water by one degree from 60° to 61°Fahrenheit at a constant pressure of one atmosphere!!!**

## ou mesmo equivalentes de energia:

Equivalente de:	Joule	kWh
Litro de gasolina (automóvel)	3,477E+07	9,657E+00
Litro de gasolina (avião)	4,175E+07	1,160E+01
Litro de gasóleo	3,866E+07	1,074E+01
Litro de GPL	2,659E+07	7,385E+00
Tonelada de carvão	2,931E+10	8,141E+03
Tonelada de petróleo	4,187E+10	1,163E+04
GHV Nm <sup>3</sup> gás natural*	4,212E+07	1,170E+01
GHV Nm <sup>3</sup> gás butano*	1,331E+08	3,698E+01
GHV Nm <sup>3</sup> gás propano*	1,013E+08	2,814E+01
GHV Nm <sup>3</sup> metano*	3,990E+07	1,108E+01

\***GHV – Gross Heating Value** = quantidade máxima de energia produzida na queima completa do gás

## **Mas atenção:**

**Não estamos de facto nestes casos verdadeiramente a falar de unidades, porque estas equivalências são feitas admitindo uma dada composição para o produto em causa, e que a combustão é completa.**

**Conversor de unidades/equivalentes de energia online:  
<http://www.onlineconversion.com/energy.htm>**

**Para terminar este módulo introdutório vamos tornar claro o significado de algumas definições**

**Fonte primária de energia**

**fonte de energia que existe na natureza**

**podem ser classificadas como renováveis (em geral não se podem armazenar) ou não renováveis (podem armazenar-se)**



**Para terminar este módulo introdutório vamos tornar claro o significado de algumas definições**

**Fonte secundária de energia**

**fonte de energia que resulta de um ou mais processos de conversão**

**Para terminar este módulo introdutório vamos tornar claro o significado de algumas definições**

**Vector energético**

**na literatura aparecem duas definições**

**mais geral: qualquer fonte secundária de energia utilizada para o seu transporte (electricidade, hidrogénio, combustíveis, vapor de água,...)**

**mais estrita: apenas electricidade e hidrogénio**

## Algumas eficiências em processos de conversão de energia:

Geradores eléctricos de grande dimensão (m – e)	98-99%
Queimadores de grande dimensão (q – t)	90-98%
Grandes motores eléctricos (e – m)	90-97%
Melhores fornos a gás domésticos (q – t)	90-96%
Pilhas secas (q – e)	85-95%
Pequenos motores eléctricos (e – m)	60-75%
Crescimento de bactérias (q – q)	50-65%
Grandes turbinas a vapor (t – m)	40-45%
Motores a gasóleo (q – m)	30-35%
Crescimento mamíferos pós-parto (q – q)	30-35%

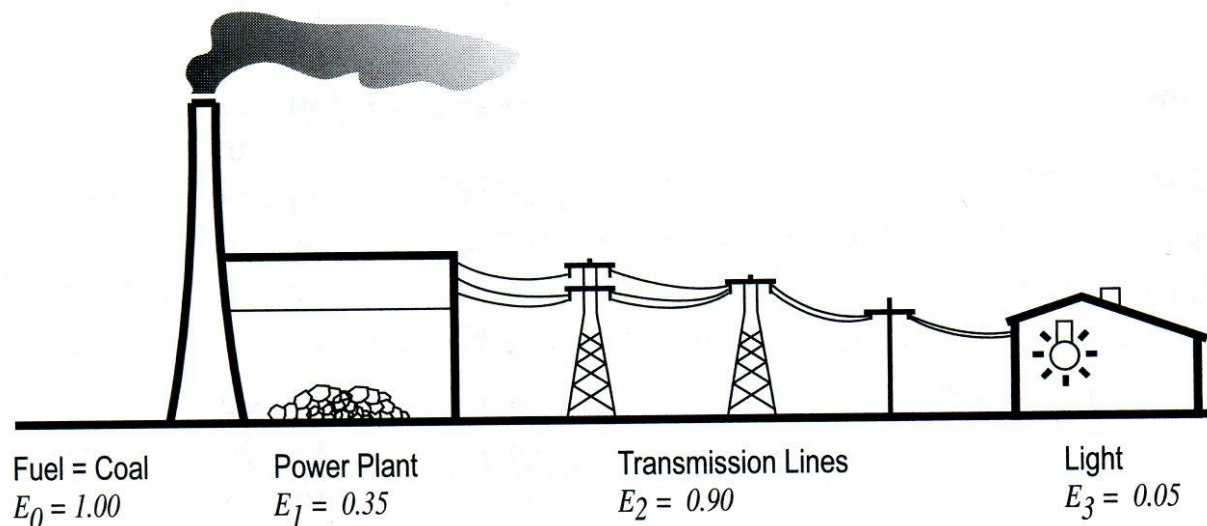
fonte: Sustainable Energy – Choosing Among Options, J.W. Tester, (MIT-Press)

## Algumas eficiências em processos de conversão de energia:

Melhores células fotovoltaicas (r – e)	20-30%
Melhores motores a vapor (q – m)	20-25%
Motor a gasolina (q – m)	15-25%
Músculos mamíferos (q – m)	15-20%
Produção de leite (q – q)	15-20%
Lâmpadas fluorescentes (e – r)	10-12%
Produção de carne (q – q)	5-10%
Locomotiva a vapor (q – m)	3-6%
Lâmpadas de incandescência (e – r)	2-5%
Fotossíntese (global) (r – q)	0,3%

fonte: Sustainable Energy –Choosing Among Options, J.W.Tester, (MIT-Press)

É claro que numa cadeia de processos de conversão as eficiências se multiplicam:



fonte: Sustainable Energy –Choosing Among Options, J.W.Tester, (MIT-Press)

$$\eta_{global} = 0,35 \times 0,90 \times 0,05 \cong 0,016 = 1,6\%$$