

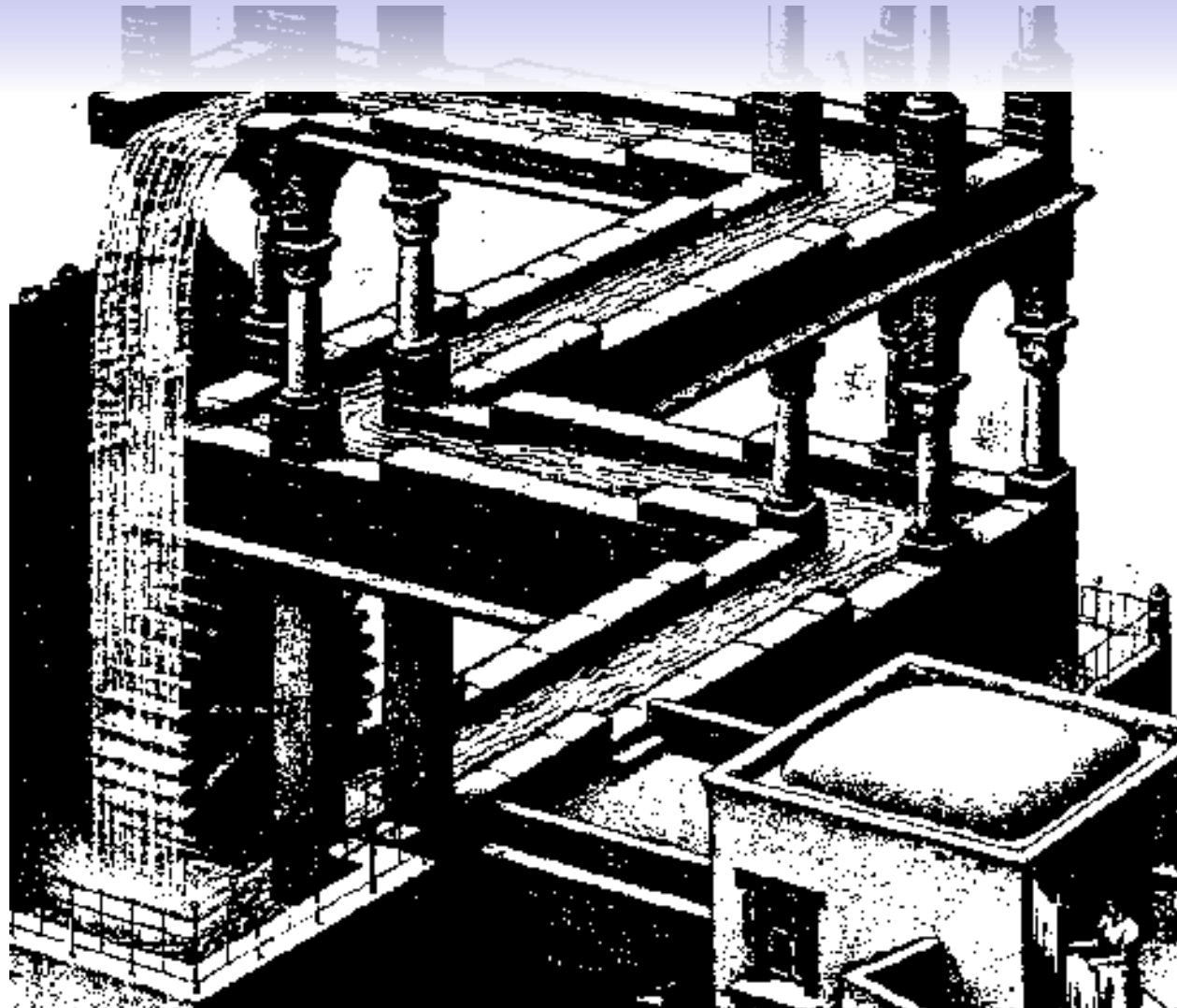
# *Curso Termodinâmica I – TM344*

**Prof. Luís Mauro Moura**

Departamento de  
Engenharia Mecânica –  
DEMEC - UFPR

e-mail:

[Luis.moura@ufpr.br](mailto:Luis.moura@ufpr.br)



# **Curso Termodinâmica I – TM344**

**Prof. Luís Mauro Moura**

Departamento de Engenharia Mecânica – DEMEC - UFPR

e-mail: [Luis.moura@ufpr.br](mailto:Luis.moura@ufpr.br)

**OBJETIVOS DA DISCIPLINA:** Introduzir ao aluno os principais conceitos, modelos e métodos da Termodinâmica Clássica a fim de torná-lo apto a resolver problemas de Engenharia Mecânica.

1. Introdução e conceitos básicos
2. Energia. 1ª lei da Termodinâmica
3. Propriedades termodinâmicas
4. Análise energética com volumes de controle
5. 2ª lei da Termodinâmica
6. Entropia
7. As duas leis combinadas
8. Relações termodinâmicas

# Curso Termodinâmica I – TM344



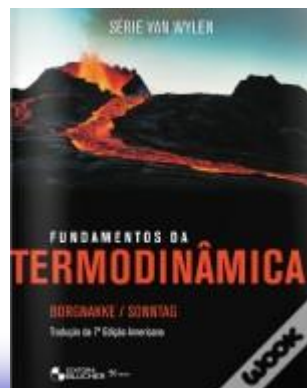
## Livro texto

- MJ Moran, HN Shapiro, Princípios de Termodinâmica para Engenharia, 7ª ed., LTC.



## Bibliografia suplementar

- YA Çengel, MA Boles, Termodinâmica, 7ª ed., McGraw-Hill.
- Van Wylen, Fundamentos da Termodinâmica - 8ª. Ed., Editora Blucher



# ***Curso Termodinâmica I – TM344***

- Critério de avaliação  $Média = (P1 + P2 + P3) / 3$
- Período letivo: 4/Maio a 04/Julho
- Sem aula: 21/Maio e 11/Junho
- **27/05 quarta 11 22 Exercícios - 4ª feira**
- **17/06 quarta 18 36 Exercícios - 4ª feira**
- 1ª prova : 28/Maio (5ªf), 18:30h
- 2ª prova : 18/Junho (5ªf), 18:30h
- 3ª prova : 30/Junho (3ªf), 18:30h
- Prova final : 07/Julho (3ªf), 18:30h

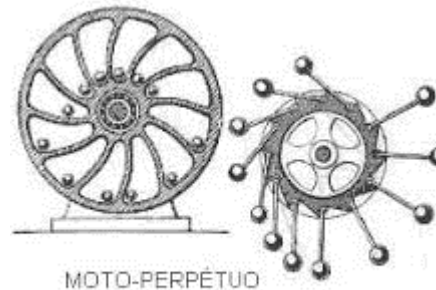
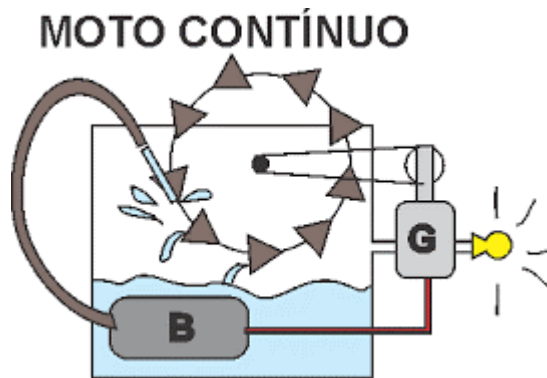
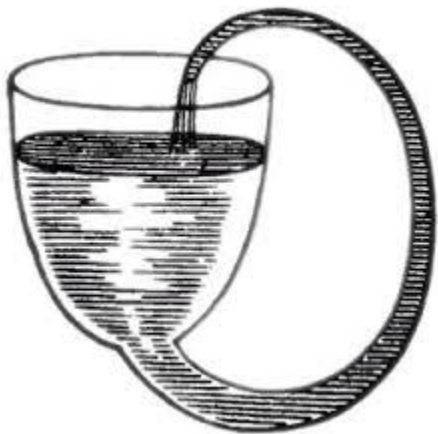
Data	dia	AULA	Total	Programa	Conteúdo Prova
05/05	terça	1	2	Apresentação da disciplina. Conceitos fundamentais	1
05/05	terça	2	4	Conceitos fundamentais. Trabalho e Calor	1
07/05	quinta	3	6	Propriedades Termodinâmicas. Diagramas P-v-T, Tabelas e interpolações	1
12/05	terça	4	8	Primeira Lei da Termodinâmica para Sistemas Fechados	1
12/05		5	10	Lei dos gases ideais, modelo de substância incompressível e calores específicos	1
14/05	quinta	6	12	Introdução aos volumes de controle. Definição de Vazão. Balanço de massa em regime permanente. Balanço de massa em regime transiente	1
19/05	terça	7	14	Primeira Lei da Termodinâmica para volumes de controle	2
19/05	terça	8	16	Balanço de energia para volumes de controle em regime permanente	2
21/05	a			<b>REUNIÃO ABCM</b>	
26/05	terça	9	18	Turbinas, bombas e compressores. Trocadores de calor	2
26/05	terça	10	20	Balanço de energia para volumes de controle em regime transiente	2
27/05	a	11	22	<b>Exercícios - 4ª feira</b>	
28/05	quinta	12	24	<b>1ª Avaliação</b>	
02/06	terça	13	26	Introdução à segunda lei da termodinâmica. Irreversibilidades. Corolário de Clausius, Kelvin-Planck e de Carnot	2
02/06	terça	14	28	Máxima eficiência teórica de ciclos de potência; Coeficiente de performance (COP) para ciclos de refrigeração e bombas de calor.	2
04/06	quinta			<b>Feriado Corpus Christis</b>	
09/06	terça	14	28	Desigualdade de Clausius. Entropia como uma propriedade do sistema. Equações TdS.	3
09/06	terça	15	30	Exercícios	
11/06	quinta			<b>XI Fórum Brafitec</b>	
16/06	terça	16	32	Balanço de entropia para sistemas fechados	3
16/06	terça	17	34	Balanço de entropia para volumes de controle. Introdução à exergia	3
17/06	a	18	36	<b>Exercícios - 4ª feira</b>	
18/06	quinta	19	38	<b>2ª avaliação</b>	
23/06	terça	20	40	Cálculo da exergia de um estado	3
23/06	terça	21	42	Balanço de exergia de um sistema fechado. Balanço de exergia para volumes de controle	3
25/06	quinta	22	44	<b>Exercícios</b>	
30/06	terça	23	46	<b>3ª Avaliação</b>	
30/06	terça	24	48	<b>3ª Avaliação</b>	
02/07	a	25	50	<b>Vista de Provas</b>	
04/07		26	52	<b>Encerramento do semestre letivo e entrega de notas</b>	
07/07	terça	27	54	<b>Exame Final</b>	
11/07	terça	28	56	<b>Exame Final</b>	
15/07				<b>Prazo para entrega das cadernetas</b>	

# ***Histórico***

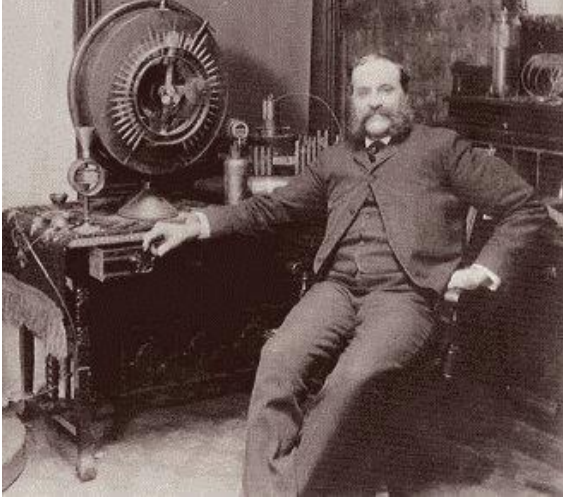
- **Termodinâmica**
  - **THERME: Calor**
  - **DYNAMIS: Potência, força**

# *Moto contínuo ou moto perpétuo*

- [https://www.youtube.com/watch?v=fQQ8\\_PDAdfl](https://www.youtube.com/watch?v=fQQ8_PDAdfl)
- [https://www.youtube.com/watch?v=3N4V\\_YdEhYM&index=9&list=RDfQQ8\\_PDAdfl](https://www.youtube.com/watch?v=3N4V_YdEhYM&index=9&list=RDfQQ8_PDAdfl)
- [https://www.youtube.com/watch?v=ugGIL-KL5rc&index=20&list=RDfQQ8\\_PDAdfl](https://www.youtube.com/watch?v=ugGIL-KL5rc&index=20&list=RDfQQ8_PDAdfl)



# ***Moto contínuo ou moto perpétuo***



Só para exemplificar o quão tal invenção seria importante para a humanidade, vale lembrar a história de John Worrell Keely, um mecânico que anunciou em 1875, a construção do primeiro motor de movimento perpétuo do mundo que – contrariando a Primeira Lei da termodinâmica – realmente iria funcionar infinitamente e sem gastar nada de energia. Sua máquina era um motor que ligado a um gerador, devolvia um aparente excesso de energia que poderia ser aproveitado. Um exemplar (ou alguns exemplares) do aparelho chegou a ser produzido pela Keely Motor Company – empresa fundada por um grupo de acionistas liderado pelo próprio John, que ganhou milhares de dólares expondo seu invento (algumas publicações afirmam que John Kelly chegou a arrecadar mais de 1 milhão de dólares!).

- No entanto, a fraude criada por John Keely só foi descoberta após a sua morte. Seu filho resolveu transformar a casa do pai (onde estava o “revolucionário” aparelho) em um museu. Foi uma questão de tempo para os visitantes descobrirem que havia um reservatório de ar comprimido no porão da residência, a verdadeira fonte do movimento perpétuo do motor de Keely.



- Villard de Honnort 13th century had a drawing of one.
- Leonardo da Vinci made a number of drawings of things he hoped would make money for free.
- Jesuit priest, Johannes Taisnerius worked on a magnetic based perpetual motion machine
- Mimara in 1518 designed a "self-blowing windmill"
- John Dee of 16th century reported seeing one - but wasn't allowed a closer look
- Cornelis Drebbel 1610, was an alchemist and magician supposedly made one. (hundreds have tried to replicate alchemy too)
- Robert Fludd 1630 proposed many machines -people were trying to patent variations of Fludd's failures in the 1870's
- 1635 - first of many English perpetual motion machine patents granted. - by 1903, 600 such patents had been granted. Free energy claimants love impressing people with patents (most people don't understand that a patent can't promise feasibility)
- Edward Somerset 1638 demonstrated many lacking free energy water wheels to the king of France
- Ulrich von Cnarrach in 1664 in Germany designed a perpetual motion machine that never worked.
- scientist Jean Bernoulli(1667 - 1749) proposed a fluid energy machine
- Bockler in 1686 made designs for self-powered water mills.
- In 1712 Johann Bessler aka Orffyreus investigated 300 different perpetual motion models and claimed he had the secret of perpetual motion and got much investment money - was declared a fraud but here's site which believes he had something that worked had constructed a machine which demonstrated his claim. another site about Bessler and another His own employees claimed the device was a fraud.
- Dr Conradus Schviers in 1790 made a belt driven wheel- others tried more unsuccessful adaptations a century later
- Sir William Congreve in 1827 tried a machine running on capillary action (many others failed in this attempt too)
- Britisher Henry Prince1866 described the first partially submerged perpetual motion machine.
- Mark Zimara of Italy had a huge air powered machine that never worked
- Horace Wickman of the USA got a patent to a machine with many balls that just rotate around.
- Austrian, Alois Drasch patented a unsuccessful machine in the US in 1868
- german, George Andreas Bockler proposed 'self operating mills' using variants of Archimedes screws
- Charles Recheffer in 1812 in Philadelphia made much money on a perpetual motion machine, tried to restrict scientific evaluation, but was eventually debunked. Afterwards, he still made money on similar scams.
- Scottish shoemaker Spence, designed a magnetic based machine which was debunked.
- E. P. Willis of Connecticut made off a perpetual motion machine in 1870 - people eventually found out a secret source of power to it.
- John Worrell Keely of Philadelphia in 1872 (he also had a traveling show of exhibitions). He fooled many scientists with a machine which appeared to run on water. He raised 5 million of investor money (more for the time than Dennis has raised). Keely tried to avoid being tested. The machine was based on hidden air pressure tubes. In spite of massive fraud being found - there are still believers in his 'technology' today.
- John Gangee in 1981 got considerable support for a machine very similar to Dennis Lee's which used liquid ammonia (because it could operate at freezing) - it got vaporized from heat readily available, thus expanding it would drive a piston. Gangee wrongly thought the vapor would condense to liquid to start the cycle over again. The Navy appeared to have been fooled and showed it to president. Garfield - it never went anywhere Tom Napier agrees that Dennis Lee may have resurrected Gangee's bogus engine
- J. M. Aldrich was arrested for getting investors for his free energy machine in 1899 - he some how was able to avoid conviction and conned many investors. One of whom was finally able to inspect the machine found a hidden spring
- John Andrews in 1917 had a green powder he said turned water to gas (actually many people did this scam) - he tricked the Navy
- Garabed T.K. Giragosian in 1917 claimed to have a free energy machine. He was one of the early frauds to hid behind conspiracy theory. Woodrow Wilson signed a resolution offering him protection from some kind of conspiracy. After much fanfare, and delaying tactics his machine turned out to be a giant flywheel which was charged up with energy slowly and put out a lot of energy for just a second. In spite of lack of proof of anything significant his followers still bothered the US congress for recognition.
- T.H. Moray in the 20's demonstrated a "radiant energy device" to many people who were unable to find a hidden power source. Some how, the secret was said to have been forgotten.
- Lester Hendershot in 1928 got an Army commandant to endorse his free energy machine - but it was later found to have a hidden power source in the motor. His sons believe Lester lost his notes and that maybe they can rediscover how to get it to work.
- Robert Johnson's permanent magnet motor got a patent but faded into oblivion.
- Viktor Schaubertger Claimed to have discovered some special vortex energy in water. Since he died in 1958, I don't know if his claims have been replicated, but people are still studying his works
- Mike Pead in 1966 was a conspiracy believer alternative car engine got a few investors but killed someone during a demo. He tried to blame the problem on an investigating skeptic. He disappeared and became part of urban legend of scores of people which the big conspiracy has been silencing for generations.
- Guido Franch was convicted of fraud in 1954 and 1973 of selling rights to distribute little green pills that would convert water into gas. He hid behind conspiracy theory and secrecy to avoid fair testing. A number of people have run this scam and many people still believe there are pill repressed by the oil companies.
- Otis Carr in 1958 sold stock for a company to manufacture UFO's and free energy machines from Oklahoma. He claimed inspiration from Tesla, now his ideas are being used by Dennis Lee Anyone with more info on Otis or Carini please email lancemood@mac.com
- Edgar Cayce even babble about "Motor's with no Fuel"
- McClintock was claimed to use air as a fuel and had a patent. (a patent doesn't mean something works)
- The Evgray machine scammed many investors (who didn't know how to test 'depleted' batteries). The perpetrators refused to let a knowledgeable person test the device. And the DA had trouble charging them because investments weren't made as stock purchases. A skeptical investigator who I talked with was denied permission to examine the device (skeptics rarely get a close look at this stuff)
- Arnold Burke in 1977 collected \$800,000 of investor money (again, mostly from bible believing farmers) for a 'self acting pump'. He tried to hid behind religion. He called his device Jeremiah 33:3 Finally, an open test was done in 1979 and found a hidden source of electricity. His believers (with an infinite supply of denial ) still raised \$250,000 to get out of a fraud conviction. He still went on making lots of claims with no evidence.
- Robert Adams in 1977 made all kinds of conspiracy and OU claims in New Zealand. Many still believe in the Adams Motor. - He had the obligatory battles over patents, debates over theory, debates over power measurement and dabbling in other areas of alt physics. He's 80 years old and said to have a scientific education. He has a lot of theories about Aether. Skeptical information
- Robert Stewart in 1978 got over \$3,000,000 of investment money (much from farmers) for a closed cycle engine using from rather than water. This 'engine' used the same scheme John Gangee tried to sell the navy in 1882. -Eric Krieg thinks this is the same approach Dennis Lee's free energy machine works on. I think he just faded away (people claim he was silenced)
- Rory Johnson of Elgin Illinois, claimed to have invented a cold fusion, laser activated, magnetic motor that produced 525 HP, weighed 475 lbs, and would propel a large truck or bus 100,000 miles on about 2 lbs of deuterium. After signing a number of dealers, he moved all his equipment out of his labs, moved to CA and died. (to this day, folks say he was silenced by OPEC)
- Jeseph Maglich was a physicist and claimed to have a device in 1978 which harnessed fusion power from sea water. They say they put power in and get more power out. I've never heard of them since.
- Howard Johnson got a patent for a device that claimed to make free energy from a motor like device. (Note: a patent doesn't mean something works). As of 11/02, Stephen was claiming he would soon mail out samples of working ones. By 12/12/02, Stephen dropped out of contact.
- Keith Kenyon had a device claimed to produce more energy than consumed. Calculations seemed to not take power factor (also known as phase angle) into account. It never openly had its output hooked up to its input. Even Dennis Lee tells his followers that all the over unity motors (claim to make more electricity than consumed) usually just fool people who can't measure power factor.
- Muller Motor: Bill muller and Carmen muller of Germany raised money on an overunity motor and got a few followers, but never actually demonstrated one working
- Joseph Newman in 1984 claimed to have a free energy machine based on alternative physics. Like many perpetual motion inventors, he sued the US patent office. Many people wrongly measured the true power output of this machine, (they didn't realize you must specially calculate power for non sinusoidal current consumption). He now refuses to ship a unit for testing. Ten years ago, inventor Joseph Newman gave a open very long demonstration in the Super Dome in New Orleans. Over 9,000 people attended from across the country (including Dennis Lee who reportedly wanted to join his ideas with Newman. ) Newman is suing some former investors he claims are trying to steal his invention. I give more information. Evan Soule of Newman's organization offers a rebuttal
- Dennis Lee Since 1988 has been promising to demonstrate free electricity "in a month or two". He is much like Newman in his mixture of religion & extremist politics, evasion of qualified investigators, endless promises, threatening detractors, etc. He had a Fischer engine, a CRD device and now, and OU motor device. Dennis has invested in Searle and Stanley Meyer and joined Pantone in 2001 in a 50 state tour.
- Stanley Meyer 1996 claimed to have a water powered car and was also big on mixing Christianity and patriot politics with in fringe science. Meyer was found guilty of fraud after his Water Fuel Cell was tested before an Ohio judge. It is rare for an inventor to be prosecuted for an invention that does not work, but Meyer's problem was that he had been selling "dealerships", offering investors the "right to do business" in Water Fuel Cell technology. Meyer refused to allow anyone else to measure his device. Dennis Lee invested in him. He died in early 1998.Stanley Meyers gets locked up for phony water powered cars
- Bruce De Palma had a machine in 1986 - which appeared to one Electrical Engineering professor to put out 4 times more power than consumed. Turned out it was just a measurement error. (I could go on and on with such examples) Bruce was a substance abuser living very high off investor money and unwilling to help investigators like PSITRON. A pathetic summary of the death of free energy claimant Bruce dePalma and a site dedicated to Bruce.
- Dr. Potapov sold a device that was claimed to produce more energy than consumed, there are claims that these didn't work and that people did not have refunds.
- John Bedini claims to have a free energy device, but seems closed to having competent independent people investigate John Bedini's claims a An independent writing on Can you get excess power with magnets and wires?
- Mr. Finsrud is a Norwegian artist who made a sculpture where a metal ball moves for weeks apparently with no outside influence. more info
- Don Woods of Las Vegas in around 1990 had a patented CEACU, which stands for Centrifugal Energy Amplification and Conversion Unit - it turned out to be one more investment fraud.
- Troy Reed of Oklahoma, was ready to issue licences for manufacturing his permanent magnet motor etc. He's taking investment money for a device he claims puts out more heat energy than input energy. He says he's dumped a few million into his designs over the last 10 years and had little interst in my prize offer when I contacted him in 2001
- David Hamel has a lot of Free energy ideas from Planet Kladen also check my info on him
- Stephan Marinov claimed to have proven much alternative physics and to have contacted a strange cult that claims to have a Free Energy Machine. He committed suicide on July 15, 1997. more information. But he left behind some intense rants
- Greg Watson sold kits for a rolling ball and track that were thought to have over unity in 1997. Attempts of replication I know of have failed. It may have been lack of proper level or measuring. People have reported being unable to get their money back. For other opinions, go to : smot2a failure to confirm
- Yule Brown scammed a lot of gullible investors in Australia for years with his Browns Gas claims. Eventually was picked up by Dennis Lee (who eventually declared him insane) and finally died in 1998.
- CETI These people have claimed to have a device that puts out anomalous yet small amounts of heat - maybe cold fusion. They raised millions. As of 10/97, they have not been willing to have me come over and see for myself. They have said, we want people to think it doesn't work so we won't have competition. I've wondered if the energy may have come from not accounting for friction effects from the cooling flow through the pellets. (Jed Rothwell a rational editor of Infinite Energy Magazine says "however, tests with CETI cells at Motorola, SRI and the French Atomic Energy Commission show no measurable friction) Milton Rothman has a response I openly admit that I have not followed all the history of cold fusion claims and am generally ignorant on the subject.
- In Jan 98 Barbara Hickox allegedly has a patent dating from 1981 for a \$7500 fusion powered free energy system. I've started asking her for proof as of 10/98
- Paramahansa Tewariof India claims to have a device that is 200% efficient (I'm told his measurement is questionable)
- RQM is a Swiss company selling FE machines found at www.rqm.ch - I heard they filed for bankruptcy 7/99
- Ted King is looking for people to buy stock for a car he plans to drive across the country using just 2 12 volt batteries. You can contact Ted if you want to buy shares.
- Bruce Perreault has claimed to have discovered a new element, the plasmatron, ion pump, radiant energy device, etc. He's said to be constantly trying to raise more money.
- Daniel Pomerleau of Canada claims to have something that works, but he isn't interested in releasing it (as 12/97)
- Brian Collin of Australia claims revelation from God (like most of these people) to make a free energy device. A Stephen Mark claimed he invented it. Investors are still out for around \$80,000.
- Kawai and Takahashi - both of Japan claimed in the 90's to have overunity devices. - it did nothing more than drain batteries.
- Entropy Systems of Ohio 1999 Sanjay Amin got 1.6 million investment dollars for a device that would violate the 2nd law of thermodynamics. I've asked them to apply for my prize for proof. - they seem to have folded. See a rational review of Amin's claims.
- Carl Cella is a kooky guy who has claimed to have one of the many cars said to run on water.
- Robert LeBreton in 1999 claimed to be making a 600 hp free energy machine He asks for funding, people say he is a mental case.
- Renzo Boscolo in 1999 in Italy claimed to have low-energy nuclear reactions but refused to supply real proof that he promised to people who came out from Infinite Energy Magazine. Dave Cappelletti is said to still be collecting money for this.
- Doug Konzen of Seattle says he has an overunity motor in Jan of 2000 that anyone can see.
- Kopper Motor. In 10/00, Steve Elswick thought it was overunity. But David Sligar who paid \$175 for plans could not get it working. It is reported to have run from a hidden microwave source of remote power
- Ludwig Brits and Victor Christie in 2001, claim the Lutec free electricity over unity motor/generator will soon be in Australia. They have little evidence and are trying to get small time people to send in money. to an off shore account As of 7/13/01, they have not responded to numerous local requests for validation.
- Jasker in 2002 an Irish company has claimed to have free electricity. (some have said it is just a joke) info more info
- Confidential Technology -Wayne Cochran died 12/29/02 Crazy Jack Carey jcarey9622@aol.com 622look over -he is more nuts than most, they have been promising FE soon for about 20 years now. @aol.com
- Tom Bearden's MEG device Tom has given classes teaching theory before people who don't have the math background to see it is just gobbledgegook.. A rational review of meg claims and Randi's info and my info - Bearden's followers won't allow this on their discussion boards.
- Gurbakhsh Singh Mann of India claims to have invented a gravity and buoyancy perpetual motion machines
- Michael J. Marshall in Las Vegas has a device called QSFG which stands for quick start fuelless generator he says 64 nations have asked him to build factories They claim to have been offered billions for the technology. He is said to have gotten an American Indian tribe to finance his efforts. According to news reports, he was released from the slammer in 1998, after serving time for fraud and grand theft auto - he's failed to pay employees..
- Carl Tilley and Robert Kibbey in 6/2001 in Tennessee have claimed some over unity device and other stuff. Their demonstration failed in 9/02 and as of 11/02, they have been evading proper demonstrations.
- Stephen Walker in 9/2002 promised to send me and several others a free energy machine in mail. As of 12/02, still not here.
- Perendev promised to make some kind of free energy This Norwegian guy said he was cheated out of \$6000 by them.
- GWE Genesis World Energy In 2002 this group claimed to have 400 people who developed some device that sounds like it separates water into H2 and O2 using less energy than mainstream science says is possible. As of 2003, they have evaded independent confirmation. More info APS review
- Steven Greer (Disclosure Project) In 02.2003, Steven announced he had discovered some real sources of Free energy which he promised to make sure get proven to the general public. Many say that Greer is just plain nuts
- Dr. Edgar de Canada, in 2000, he claimed to have some kind of O.U. device. Independent tests found it under water.

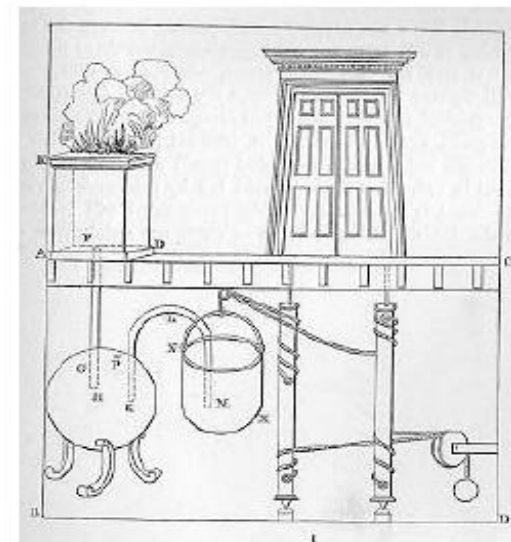
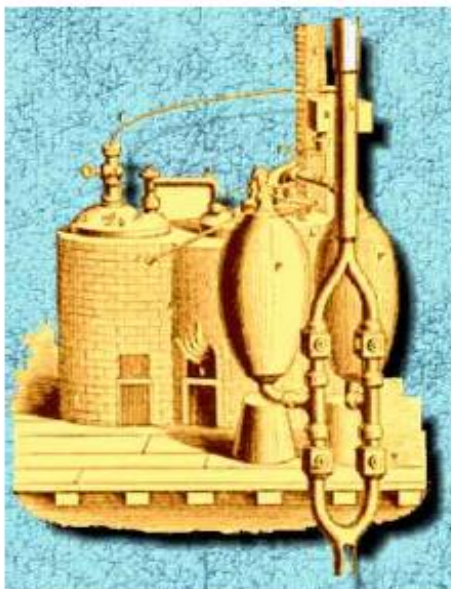
# ***Moto contínuo ou moto perpétuo***

- **impossível registrar inventos desse tipo**
- O **descrédito** de que tais inventos realmente possam vir a funcionar já está tão forte na nossa cultura que, desde 1775, a Academia de Ciências de Paris **não aceita** mais inventores de motores de moto perpétuo.
- O Escritório de Patentes dos Estados Unidos também recusa pedidos de patentes de dispositivos desse tipo. O último pedido de patente de motores de movimento perpétuo foi registrado nos Estados Unidos em 1974, sob o número 3.934.964. Como era de se esperar, o tal invento não funciona. Afinal, é impossível contrariar uma das leis da natureza que nos proíbe de tirar alguma coisa de coisa nenhuma ou de lugar nenhum.

# Máquinas a Vapor

Herão de Alexandria (c. 150 A.C.)

*Pneumatics*



Thomas Savery (1650-1715)

Primeira Máquina (c. 1698)



Thomas Newcomen (1663-1729)

Aperfeiçoamento (c. 1712)



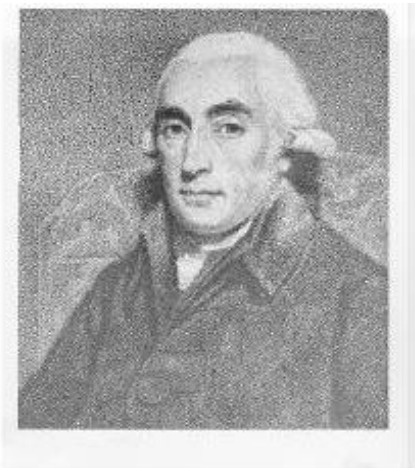
## ***Máquina a vapor***

- **Olípila**, do grego *Æolipile*, é uma esfera oca, abastecida por uma bacia com água, que é aquecida para produzir vapor, fazendo com que este produza movimento.<sup>1</sup>
- O aparelho consiste de uma câmara (normalmente uma esfera ou um cilindro) com tubos curvados, por onde o vapor é expelido. A força resultante faz com que o aparelho gire. Normalmente, a água é aquecida numa bacia, que está ligada à câmara giratória por um par de tubos que também servem como eixo para a câmara. No entanto, a água também pode ser aquecida na própria câmara como demonstra a ilustração abaixo.
- Foi desenhada no século I d.c. por Heron de Alexandria, sendo considerada a primeira máquina a vapor documentada.
- Também denominada de **Máquina de Heron** ou **Máquina Térmica de Heron**





- **Antoine-Laurent de Lavoisier** (Paris, 26 de agosto de 1743 — Paris, 8 de maio de 1794) foi um químico francês, considerado o criador da Química moderna.
- Foi o primeiro cientista a enunciar o princípio da conservação da matéria. Além disso identificou e batizou o oxigênio.
- Os trabalhos de Lavoisier assinalam, no século XVIII, o início da Química moderna.
- Escreveu um grande Tratado Elementar de Química, assumindo a inspeção nacional das companhias de fabricação de pólvora e foi arrecadador de impostos, cargo pelo qual **foi guilhotinado durante o período de Terror durante a Revolução Francesa**.
- Além de químico, Lavoisier também foi um financista.
- **Afirmava nesta teoria que o calor era uma substância elástica, indestrutível e imponderável que os materiais libertavam, aquecendo-os tendo origem no fogo. No entanto esta teoria nunca foi muito bem aceite, sendo contestada desde a sua apresentação.**



Joseph Black  
(1728-99)

## Benjamin Thompson (Conde de Rumford), Massachusetts (1753 - 1814)

Foi aprendiz numa loja, professor a tempo parcial, ginasta e estudante de medicina, interessando em máquinas elétricas.

Aos 18 anos casou-se com uma senhora viúva muito rica de 30 anos e decidiu tornar-se um cavalheiro militar e fazendeiro. Atuou como agente secreto a favor da Inglaterra e em 1776 prudente mudar-se para lá e retomando assim os seus interesses científicos. Em 1782, voltou para a América tendo cumprindo o seu papel como soldado na guerra que iria terminar no ano seguinte. Foi nomeado *Sir* por George III e indicado como Conselheiro do Governador da Bavária reformulando as condições do exército, estabelecendo serviços de assistência social para os pobres. Ganhou assim o título de “Conde de Rumford” e muito prestígio entre a sociedade. Permaneceu durante 14 anos, altura em que se mudou para Londres, em 1798. Mudou-se para Paris em 1805 e casou-se com Marie Lavoisier, viúva do seu famoso “rival” das suas teorias sobre o calor. No entanto, as frequentes brigas e desentendimentos levam o casal ao divórcio. Morre a 1814 com 61 anos.

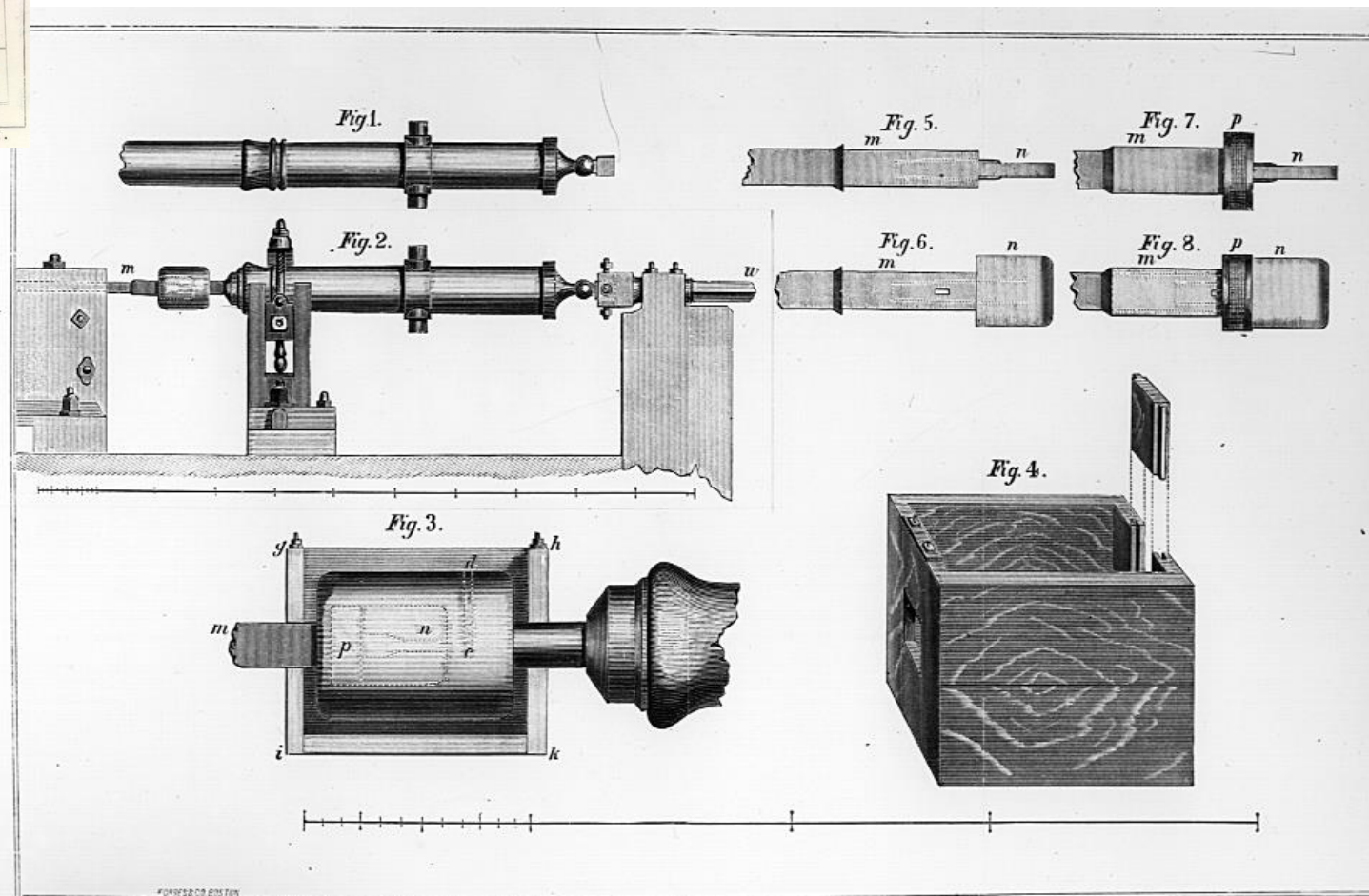
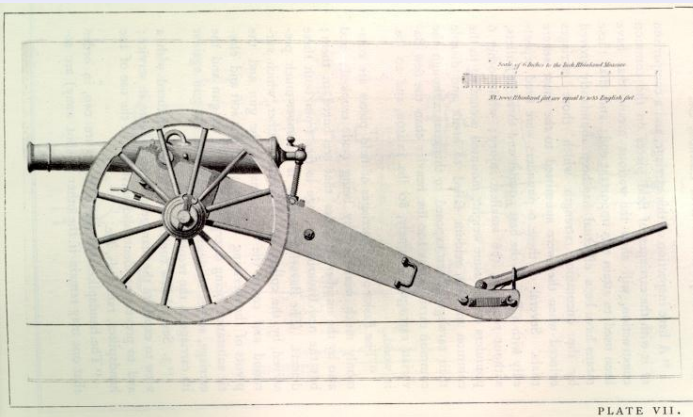


“Quando dois corpos dotados de temperaturas diferentes são postos em contato, ambos tendem a alcançar uma temperatura de equilíbrio, situada entre os dois valores iniciais: o corpo mais quente se torna mais frio e, reciprocamente, o mais frio se aquece. Durante muito tempo, explicou-se esse fenômeno atribuindo aos corpos a posse de uma substância a que se chamava *calórico*. Um corpo a alta temperatura conteria muito calórico, ao passo que outro a baixa temperatura conteria pouco. Assim, quando dois objetos nessas condições eram colocados em contato, o mais rico em calórico transferiria uma parte dele para o outro.

Tal teoria era capaz de explicar satisfatoriamente muitos fenômenos físicos, como por exemplo a condução do calor. A ideia de que o calor é uma substância não podia, contudo, resistir às evidências em contrário que começaram a surgir no fim do século XVIII; foi, assim, substituída pela concepção de que o calor é uma forma de energia; esse feito deveu-se principalmente a Benjamin Thompson, o conde Rumford. Thompson trabalhava para o governo da Baviera, como supervisão na fabricação de canhões para o Exército. Esse trabalho era executado cavando-se um orifício no interior de um cilindro maciço de ferro. Durante o processo, o ferro se aquecia, e o orifício era então mantido cheio de água. Mas a água fervia, precisando ser periodicamente substituída; ora, na época aceitava-se a hipótese de que, para fazer a água ferver, era necessário fornecer-lhe calórico. Portanto, segundo as concepções vigentes, havia uma transferência aparentemente ininterrupta de calórico do ferro para a água. Tentava-se explicar o fato pela hipótese de que, quanto mais finamente dividido um material, menor sua capacidade em reter calórico. Thompson, porém, observou que a água fervia mesmo depois que as ferramentas perdiam seu corte, e não mais eram capazes de subdividir o metal do canhão. Além disso, esse mecanismo não obedecia a um princípio que justifica a aceitação de muitas ideias abstratas em física: o princípio da conservação. De fato, neste caso havia duas quantidades que não se conservavam: a energia mecânica, que devia ser continuamente despendida, e o calórico, que era incessantemente criado.

Após realizar uma série de experiências e tentar explicá-las a partir da teoria do calórico, Thompson resolveu tentar outro caminho. Em 1798, comunicou à Royal Society inglesa que " ... **raciocinando sobre esse assunto, não devemos nos esquecer de considerar circunstância mais notável, ou seja, a de que a fonte de calor gerado por atrito, nessas experiências, era visivelmente *inexaurível*...** parece ser extremamente difícil, se não realmente impossível, formar uma ideia definida de alguma coisa capaz de ser excitada e transmitida na maneira pela qual o calor era excitado e transmitido nessas experiências, a menos que essa coisa seja movimento". ”

# Experimento de Benjamin Thompson



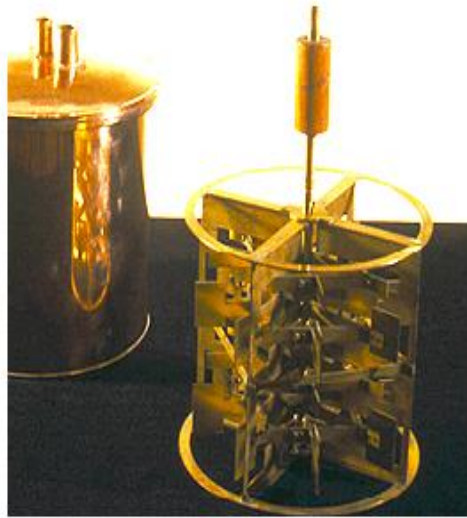


# ***JOULE, James Prescott (1818 – 1889)***



- Filho de Benjamin Joule (1784-1858), um rico cervejeiro. Fascinado por eletricidade, ele e seu irmão faziam experiências dando choques elétricos em si e nos empregados da família.
- Joule tornou-se um gerente da fábrica de cerveja e tinha um papel ativo até a venda do negócio em 1854. A ciência era um hobby, mas ele logo começou a investigar a viabilidade da substituição do motor a vapor da cervejaria pelo recém-inventado motor elétrico. Ele descobriu a Lei de Joule em 1840 e esperava impressionar a Royal Society, mas notou, não pela última vez, que ele era visto como um mero amador provinciano.
- Passou a perceber que a queima de uma libra de carvão em uma máquina a vapor produzia rendimento cinco vezes maior que uma libra de zinco consumida em uma célula elétrica de Grove, uma primitiva bateria elétrica. O padrão comum de Joule de "rendimento econômico" foi a capacidade de obtenção de uma libra pela altura de um pé, a pé-libra.
- O interesse de Joule desviou-se da estrita questão financeira para o de quanto trabalho pode ser extraído de uma determinada fonte, levando-o a especular sobre a convertibilidade da energia. Em 1843 publicou os resultados de experimentos mostrando que o efeito do calor que tinha quantificado em 1841 foi devido à geração de calor no condutor e não sua transferência de outra parte do equipamento. Esta foi uma objeção direta à teoria calórica que dizia que o calor não pode ser nem criado nem destruído. A teoria calórica havia dominado o pensamento na ciência do calor desde que fora introduzida por Antoine Lavoisier em 1783. O prestígio de Lavoisier e o sucesso prático da máquina de calor da teoria calórica de Sadi Carnot desde 1824 garantiam que o jovem Joule, que não trabalhava nem na academia nem na profissão de engenheiro, teria um caminho difícil pela frente. Os defensores da teoria calórica prontamente apontaram para a simetria do efeito Peltier-Seebeck para alegar que o calor e a corrente eram convertíveis, pelo menos aproximadamente, por um processo reversível.

# Joule e seu experimento

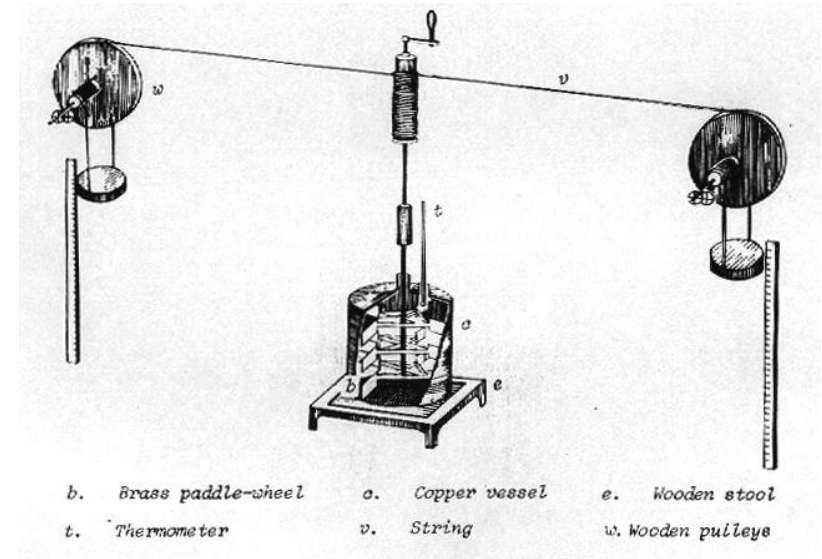
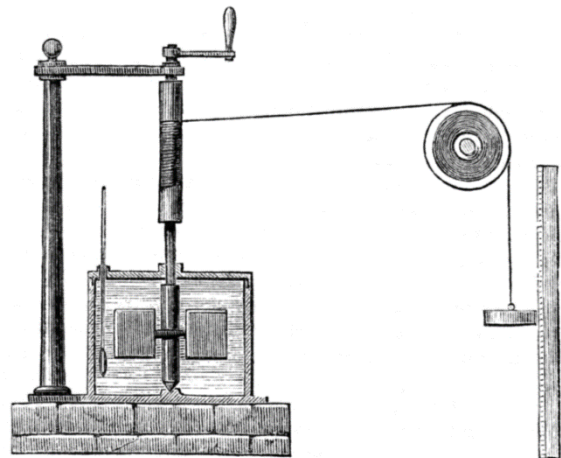


Joule's paddle-wheel apparatus (1849)

With this water-churning invention, James Joule proved the precise relation between heat and mechanical work, establishing what is now known as the First Law of Thermodynamics.

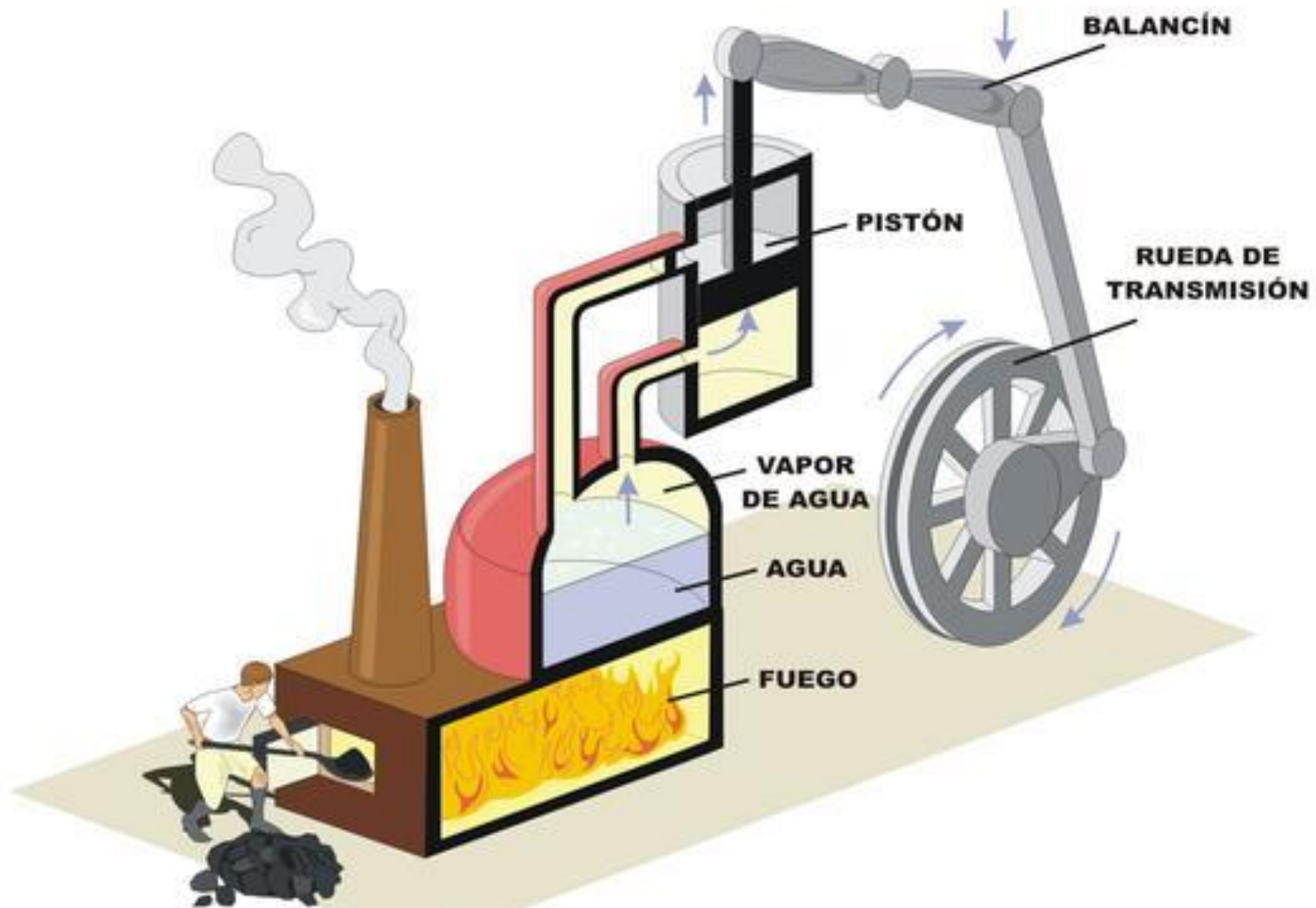


“A quantidade de calor necessária para elevar de 1°F uma libra de água equivale ao trabalho mecânico capaz de erguer 772 libras à altura de 1 pé [1cal=4,8 J]”



b. Brass paddle-wheel      c. Copper vessel      e. Wooden stool  
t. Thermometer      v. String      w. Wooden pulleys

# ***Máquina a vapor***



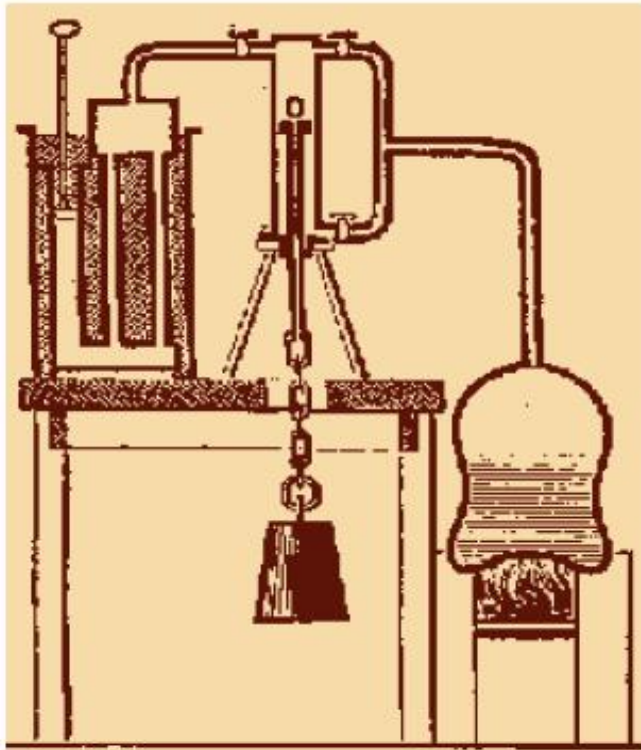
# ***Máquina a vapor***

- As primeiras máquinas a vapor foram construídas na Inglaterra durante o século XVIII. Retiravam a água acumulada nas **minas de ferro e de carvão** e fabricavam **tecidos**. Graças a essas máquinas, a produção de mercadorias aumentou muito. E os lucros dos burgueses donos de fábricas cresceram na mesma proporção. Por isso, os empresários ingleses começaram a investir na instalação de indústrias. As fábricas se espalharam rapidamente e provocaram mudanças tão profundas que os historiadores atuais chamam aquele período de **Revolução Industrial**. O modo de vida e a mentalidade de milhões de pessoas se transformaram, numa velocidade espantosa. O mundo novo do capitalismo, da cidade, da tecnologia e da mudança incessante triunfou. As **máquinas a vapor bombeavam a água para fora das minas de carvão**. Eram tão importantes quanto as máquinas que produziam tecidos. As carruagens viajavam a 12 km/h e os cavalos, quando se cansavam, tinham de ser trocados durante o percurso. Um trem da época alcançava 45 km/h e podia seguir centenas de quilômetros. Assim, a Revolução Industrial tornou o mundo mais veloz. Como essas máquinas substituíam a força dos cavalos, convencionou-se em medir a potência desses motores em HP (do inglês horse power ou cavalo-força).



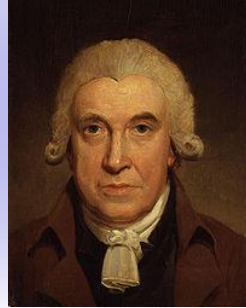
**James Watt** (1736-1819)

✓ Seis vezes mais eficiente (1765)



**Revolução Industrial**

# James Watt



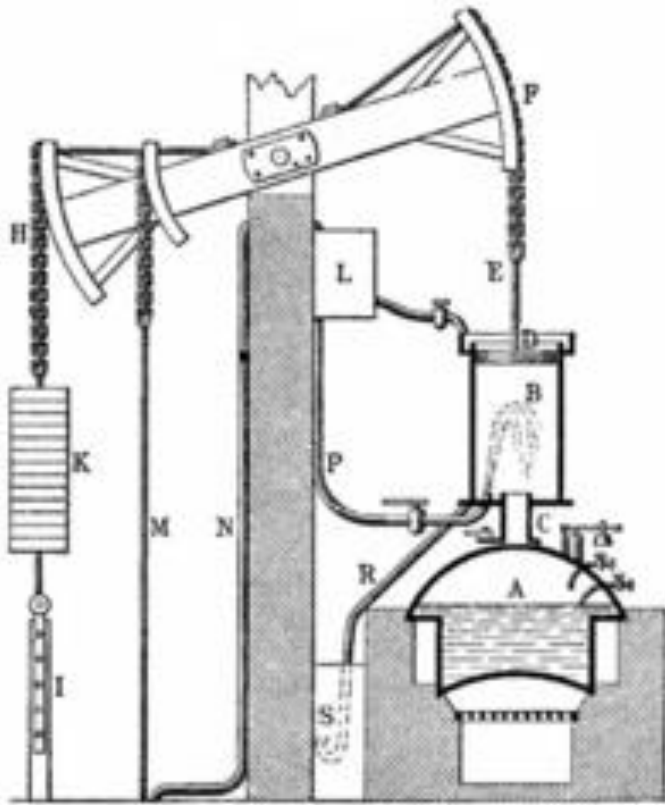
- James Watt (Greenock, Escócia, 19 de Janeiro de 1736 — Heathfield Hall, Inglaterra, 25 de Agosto de 1819) foi um matemático e engenheiro escocês.
- Construtor de instrumentos científicos, destacou-se pelos melhoramentos que introduziu no motor a vapor, que se constituíram num passo fundamental para a Revolução Industrial.
- Nasceu em 19 de janeiro de 1736 em Greenock, uma cidade portuária. Gostava de passar seu tempo livre na oficina do pai, um construtor de casas e barcos, construindo modelos.
- Aos dezoito anos, Watt resolve viajar para Londres a fim de estudar fabricação de instrumentos, durante um ano, porém teve que deixar a cidade em 1756 devido a problemas de saúde. Posteriormente retornou para a Escócia, e investiu na fabricação de seus próprios instrumentos. Todavia, por não ter servido como aprendiz durante os sete anos obrigatórios, a "Glasgow Guild Hammermen" (associação local dos artesãos que utilizam "martelos") não permitiram dar continuidade em suas atividades, assim proibindo a prática de confeccionador de instrumentos na Escócia.
- Mas Watt foi apoiado por três professores da Universidade de Glasgow, que ofereceram a ele a oportunidade de participar de uma pequena oficina com a universidade. Que teve início em 1758, sendo que Joseph Black, professor físico-químico, acabou por tornar-se seu amigo.

# ***Máquina a vapor***

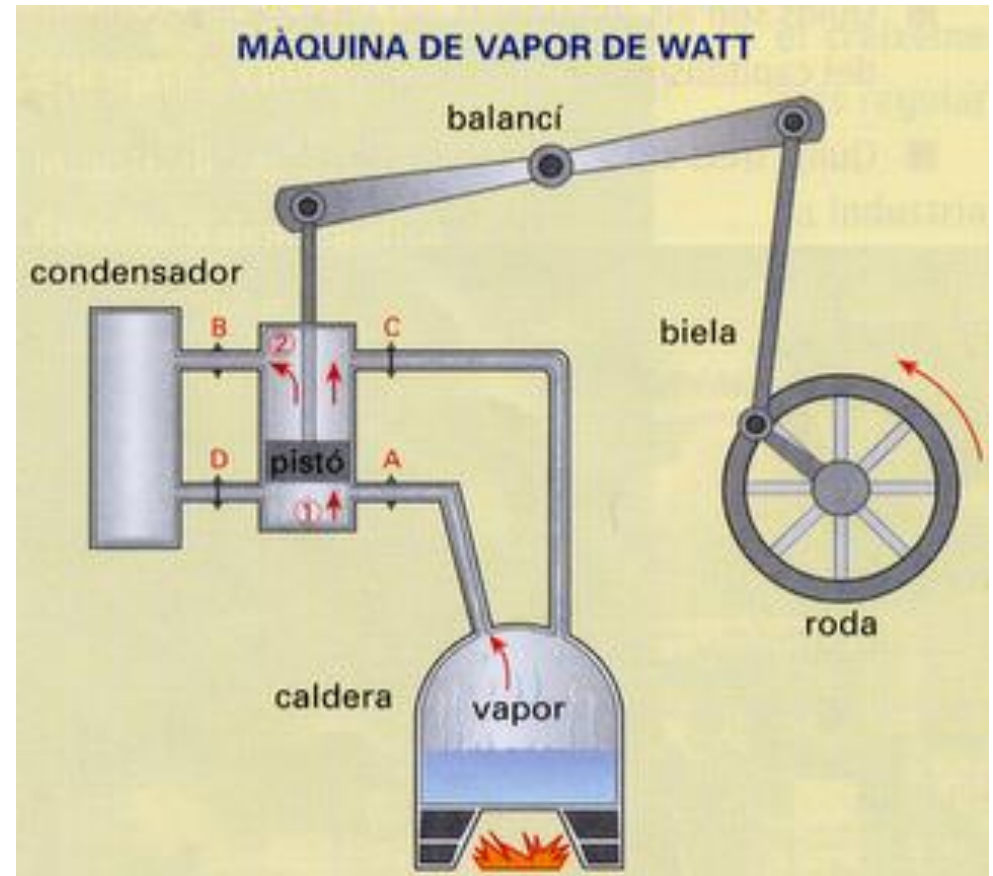
- Em 1763, foi chamado para reparar um modelo da máquina de **Newcomen**, pertencente à universidade de Glasgow. Durante o processo, Watt reparou que o arrefecimento do vapor dentro do cilindro levava ao arrefecimento desnecessário de toda a máquina, e pensou em vários tipos de melhoramentos que poderiam torná-la muito mais eficiente em termos energéticos. A adição de uma câmara de condensação separada evitaria as perdas de energia verificadas por meio do resfriamento do cilindro para a condensação do mesmo. Endividado, associou-se a John Roebuck, que o ajudou financeiramente. Um protótipo foi construído e sobre ele se realizou a correção de algumas falhas. Matthew Boulton, dono de uma firma de engenharia, comprou a parte de Roebuck e deu início à construção das máquinas projetadas por Watt.



# *Máquina a vapor*

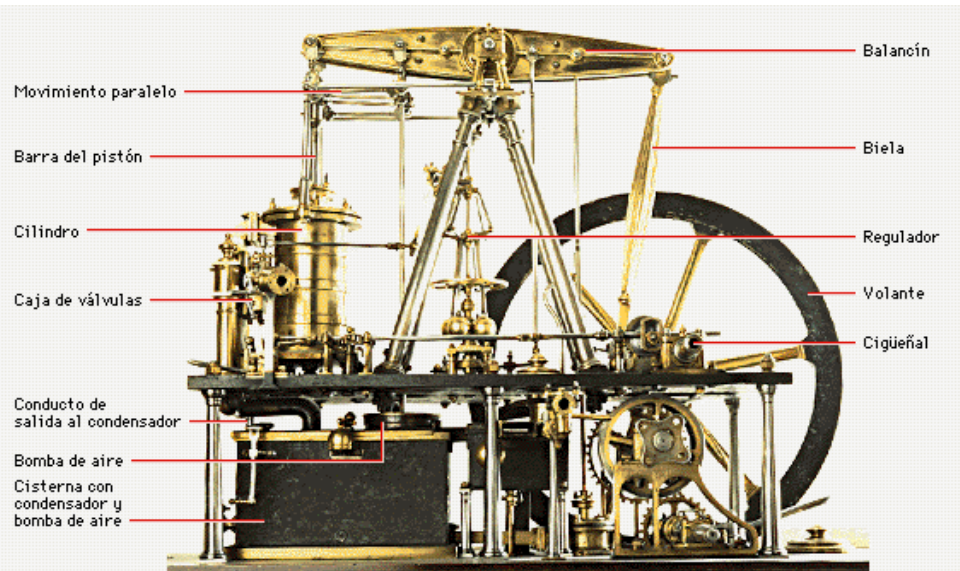


Máquina a vapor de  
Thomas Newcomen.





# Máquina a vapor

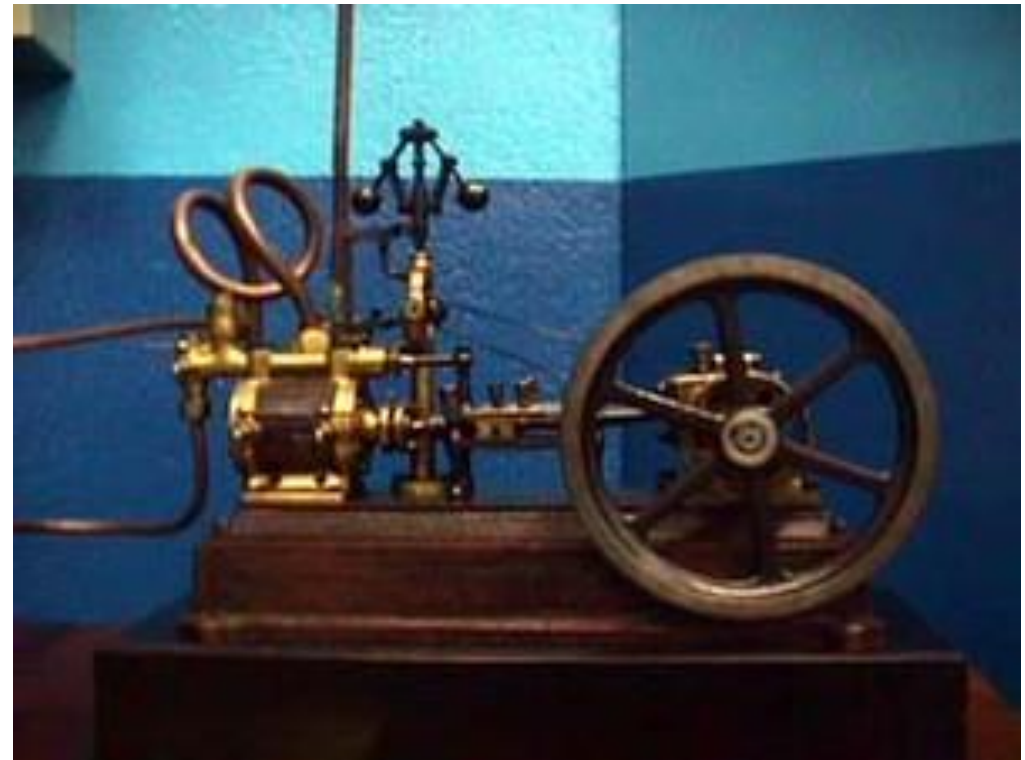
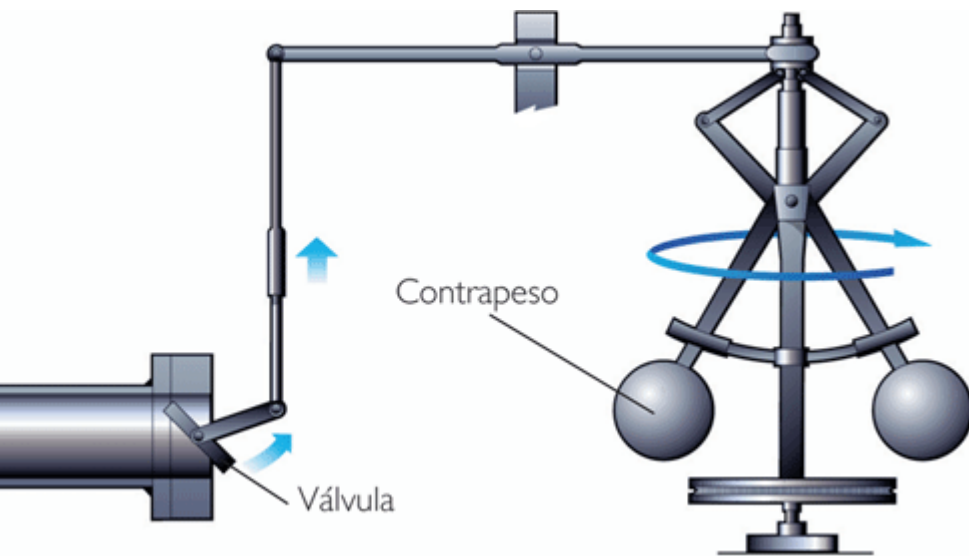


Máquina a vapor de James Watt.

aumentó en 75% o rendimiento da máquina de Newcomen, foi patenteada por Watt em 1769

# *Regulador de Watt : Governador centrífugo*

## 1788



# ***Máquina a vapor***

- [http://2.bp.blogspot.com/-Wy43F95Cy4Y/UMI0IBEY76I/AAAAAAAAAWA/X\\_0Du63oKIw/s400/Steam\\_engine\\_in\\_action.gif](http://2.bp.blogspot.com/-Wy43F95Cy4Y/UMI0IBEY76I/AAAAAAAAAWA/X_0Du63oKIw/s400/Steam_engine_in_action.gif)

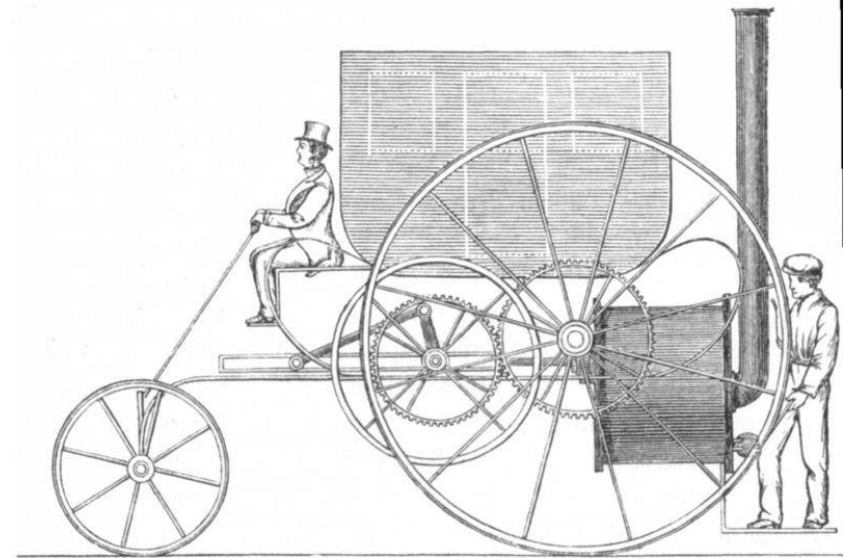
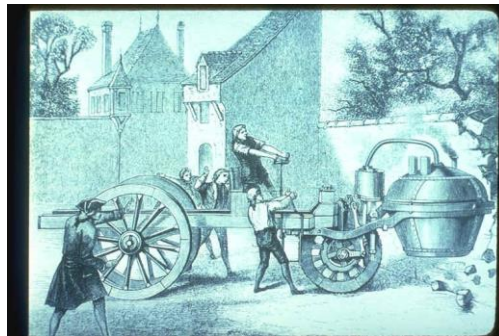
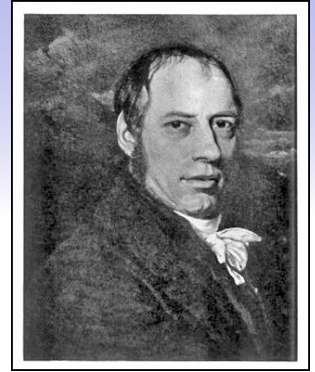
***A primeira locomotiva a vapor foi construída por Richard Trevithick e fez o seu primeiro percurso em 21 de Fevereiro de 1804.***

*Richard Trevithick (13 de Abril de 1771 - 22 de Abril de 1833) foi um inventor britânico nascido em Illogan, Cornwall.*

*Trevithick foi um pioneiro cujas invenções eram avançadas demais para a sua época; além das locomotivas, construiu barcos a vapor, máquinas de debulhar e de dragar, no entanto nunca conseguiu investidores que o ajudassem a desenvolver as suas invenções.*

*Em 1816, Trevithick mudou-se para o Peru para trabalhar como engenheiro nas minas e construir locomotivas que as servissem. Apesar do sucesso inicial, o começo da guerra civil em 1826 forçou-o a voltar a Inglaterra sem um tostão.*

*Apesar do seu génio inventivo, Trevithick morreu na pobreza e na obscuridade e os seus inventos muito pouco reconhecidos.*



A máquina de Richard Trevithick



# Primeira Lei da Termodinâmica

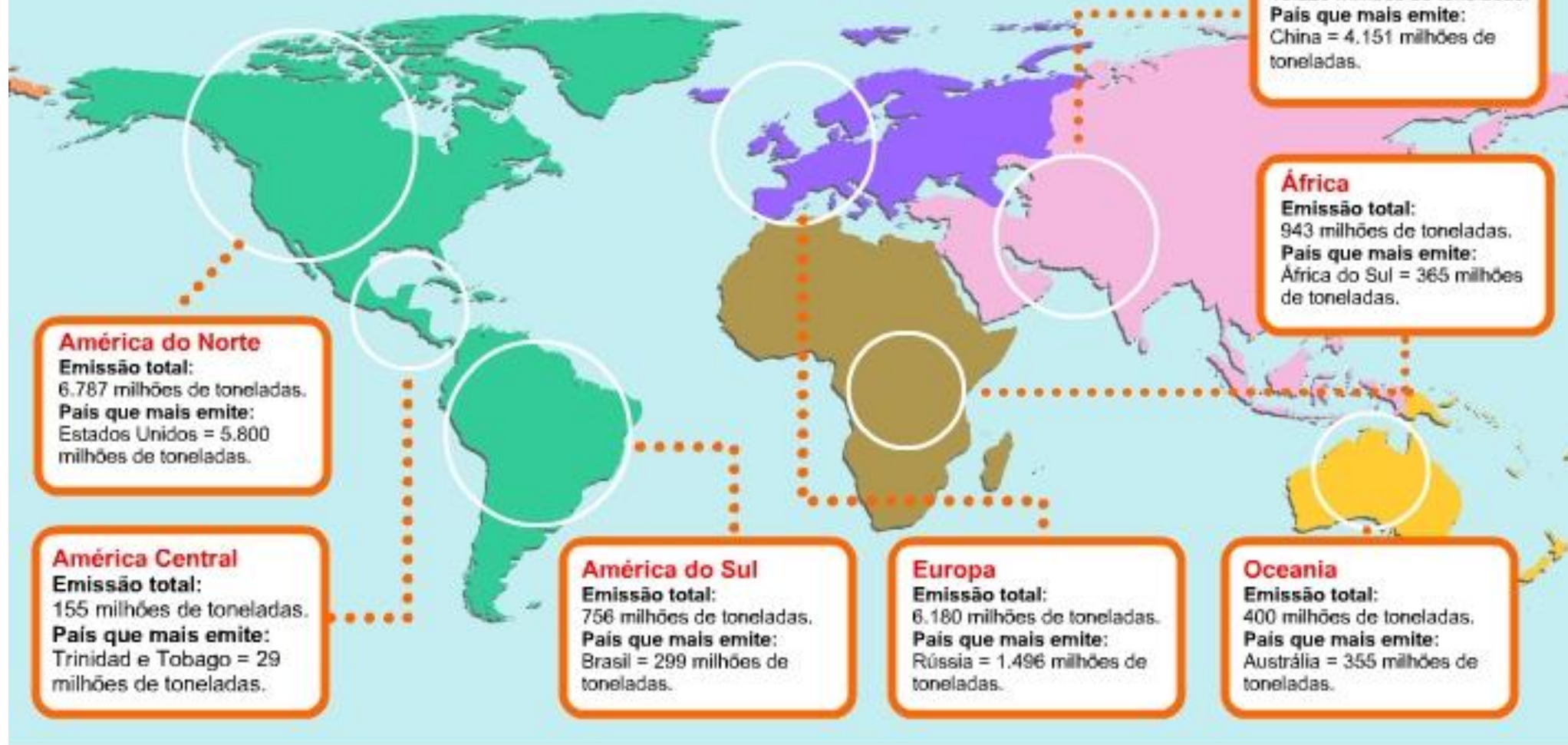


- Em 1847 o físico alemão **Hermann von Helmholtz** (1821-1894) enunciou a Primeira Lei da Termodinâmica, que define que toda energia é conservada, nunca é criada ou destruída.
- In 1850, **William Rankine** first used the phrase *the law of the conservation of energy* for the principle



# O impacto no clima com energia gerada por fontes convencionais

## Emissão de CO<sub>2</sub> a nível mundial



Fonte: Departamento de Assuntos Económicos e Sociais das Nações Unidas (UNDESA), Centro de Análise de Informações sobre dióxido de Carbono (CDIAC) do Departamento de Energia dos Estados Unidos.

MÃE, QUE HISTÓRIA  
É ESSA DO  
EFEITO  
DE  
ESTUFA?



DIZEM QUE OS POLUENTES QUE  
DEITAMOS PARA O  
AR RETÊM O  
CALOR SOLAR  
E QUE AS CALOTAS  
POLARES VÃO  
DERRETER!



DE CERTEZA TU JÁ BATES-  
TE A BOTA QUANDO ISSO ACON-  
TECE, MAS EU NÃO! BELO PLA-  
NETA QUE ME DEIXAS!



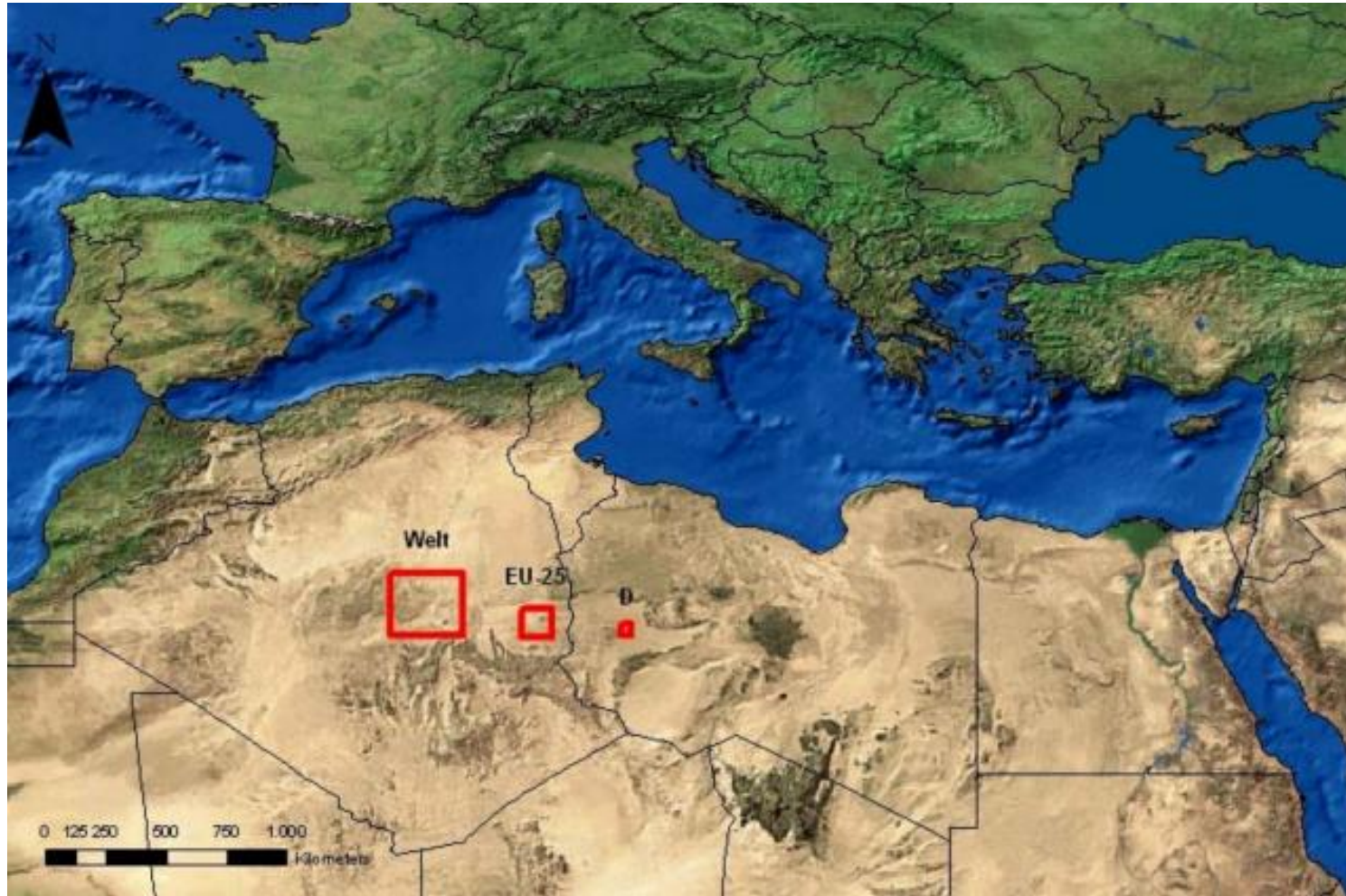
OUVIR ISTO DE QUEM NÃO QUER  
VIRAR A ESQUINA SEM SER  
DE CARRO...



EH, NINGUÉM  
ME FALOU DAS  
CALOTAS POLA-  
RES, POIS NÃO?



In 2009, the total global electricity consumption was 20,279,640 GWh. The image has three red boxes showing what area would need to be covered for Germany (De), Europe (EU-25), and the entire world, using Solar Energy.



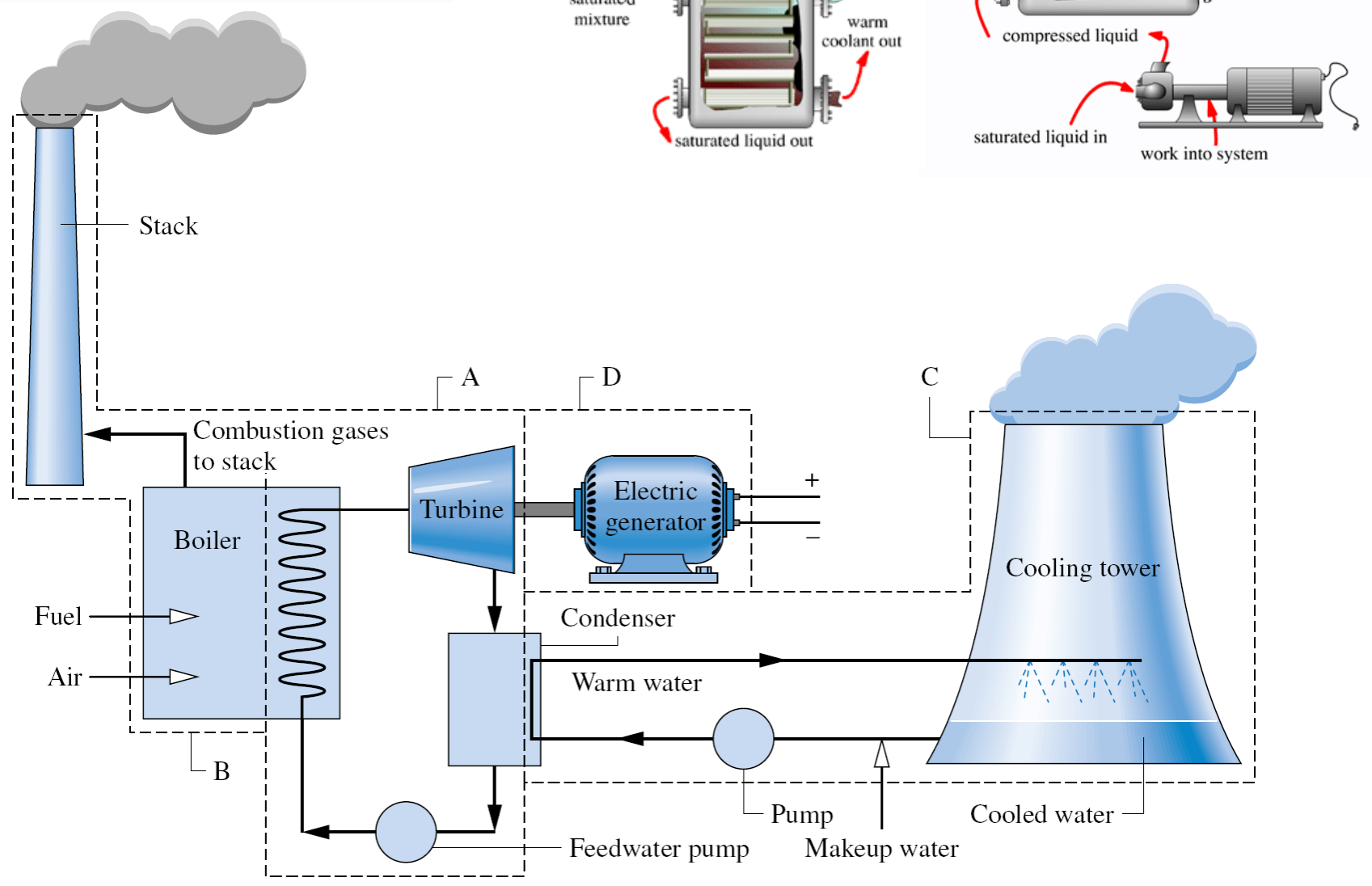
How Much Room Do We Need To Supply The Entire World With Solar Electricity?

June 24, 2014 | by Lisa Winter

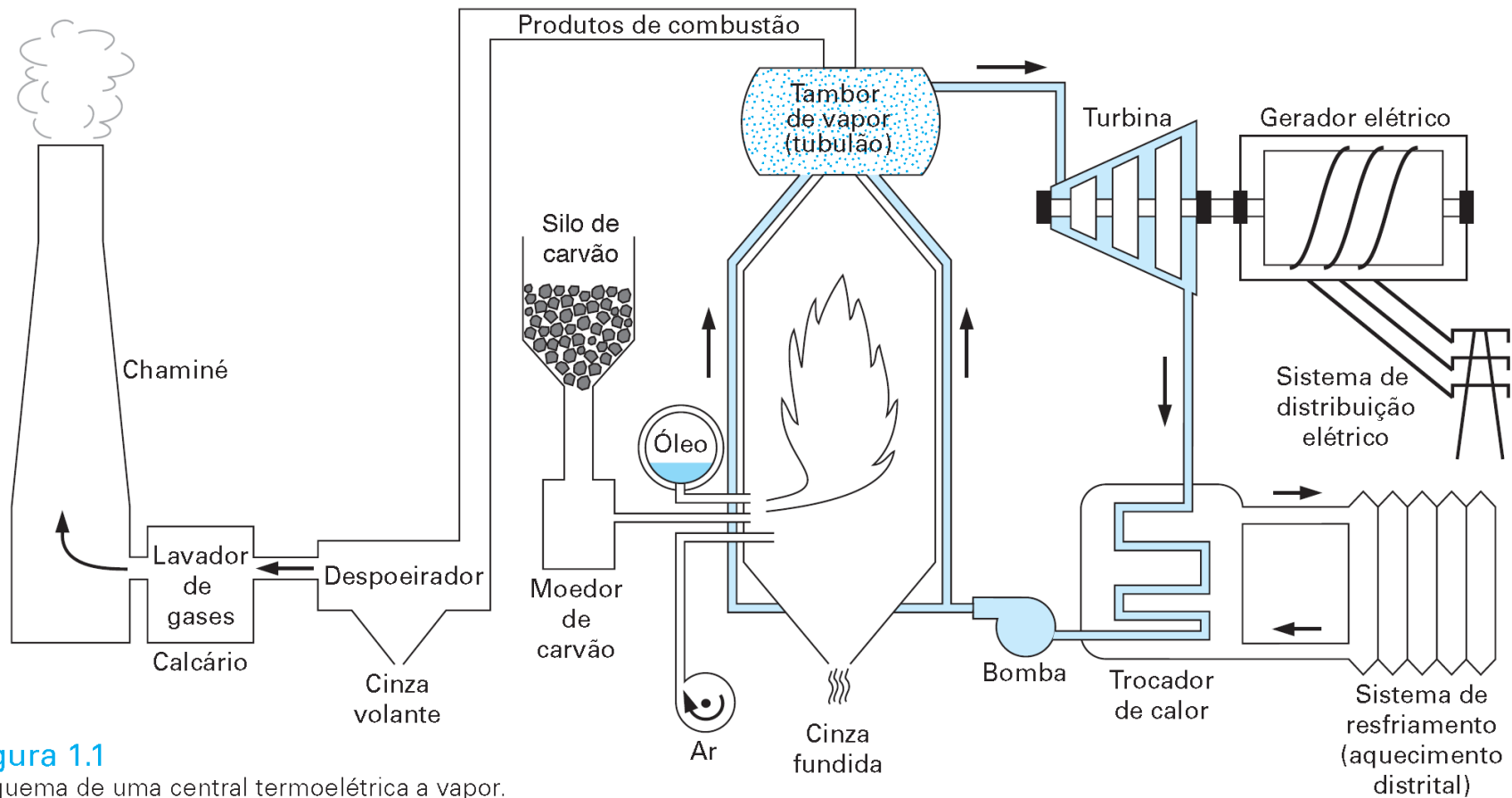


# Ciclos a Vapor para Geração de Potência

## CICLO DE RANKINE

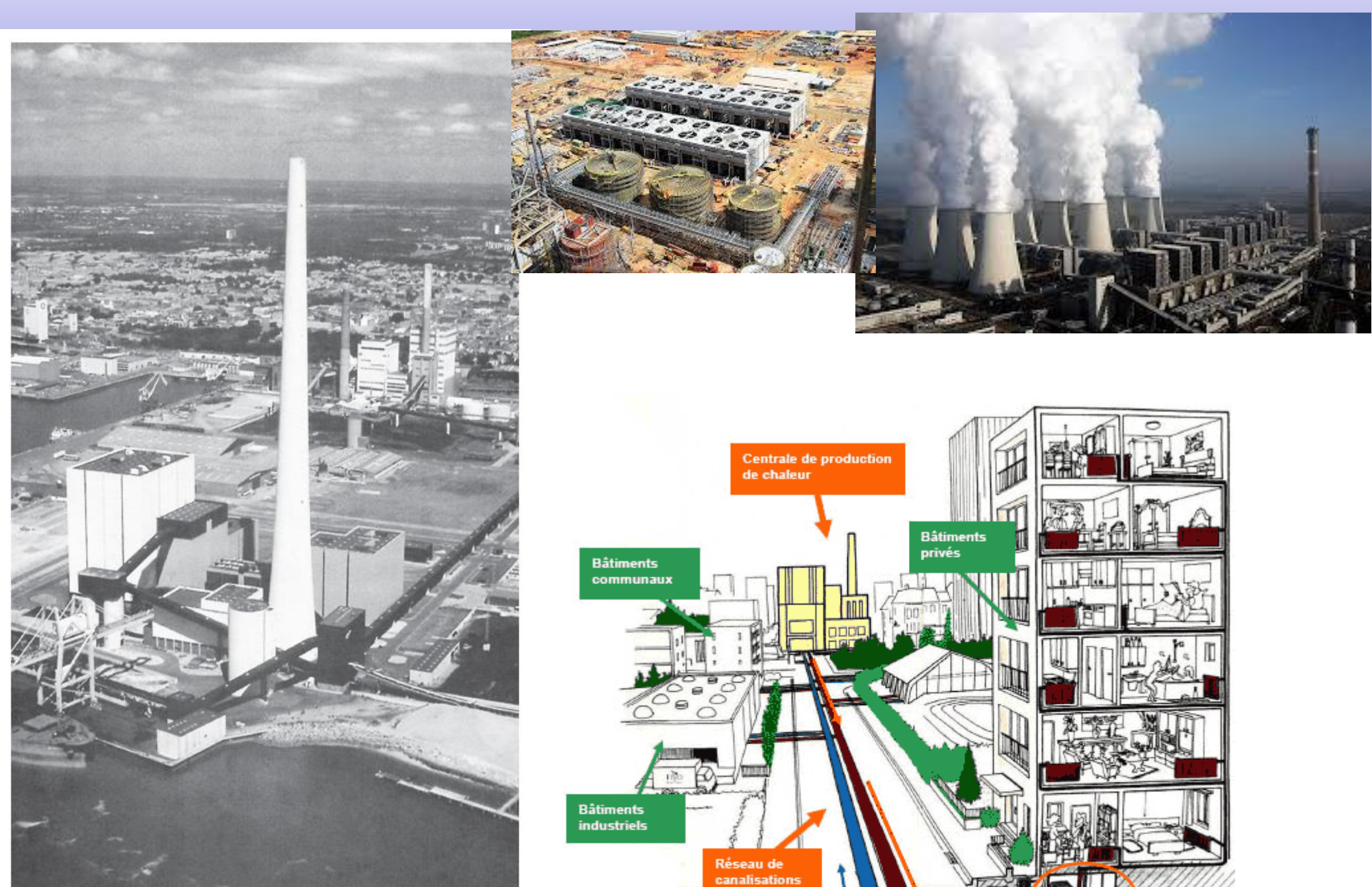


# *Termelétrica a carvão mineral*



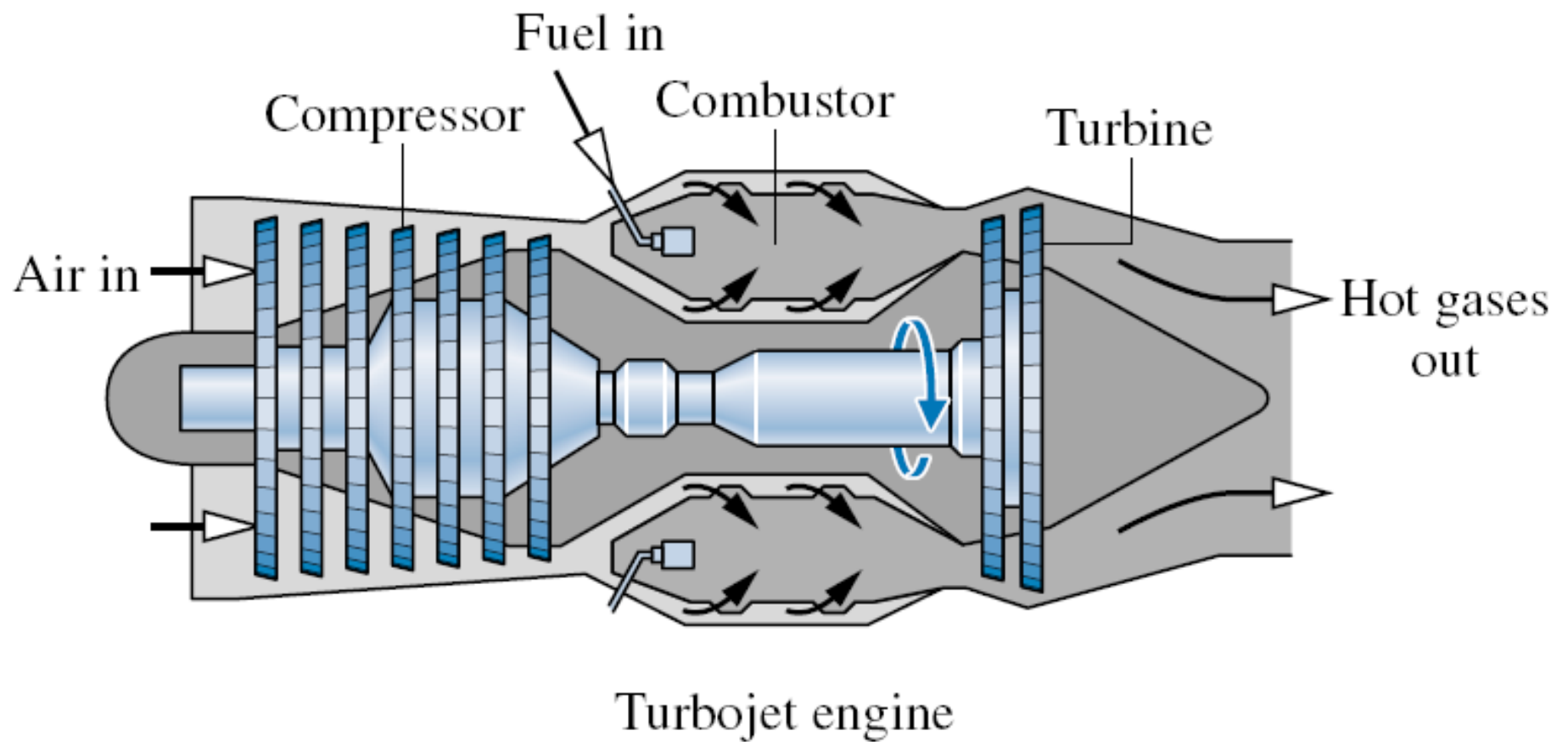
**Figura 1.1**

Esquema de uma central termoelétrica a vapor.



**Figura 1.2**  
 Central termoeleétrica Esbjerg, Dinamarca. (Cortesia da Vestkraft, 1996.)

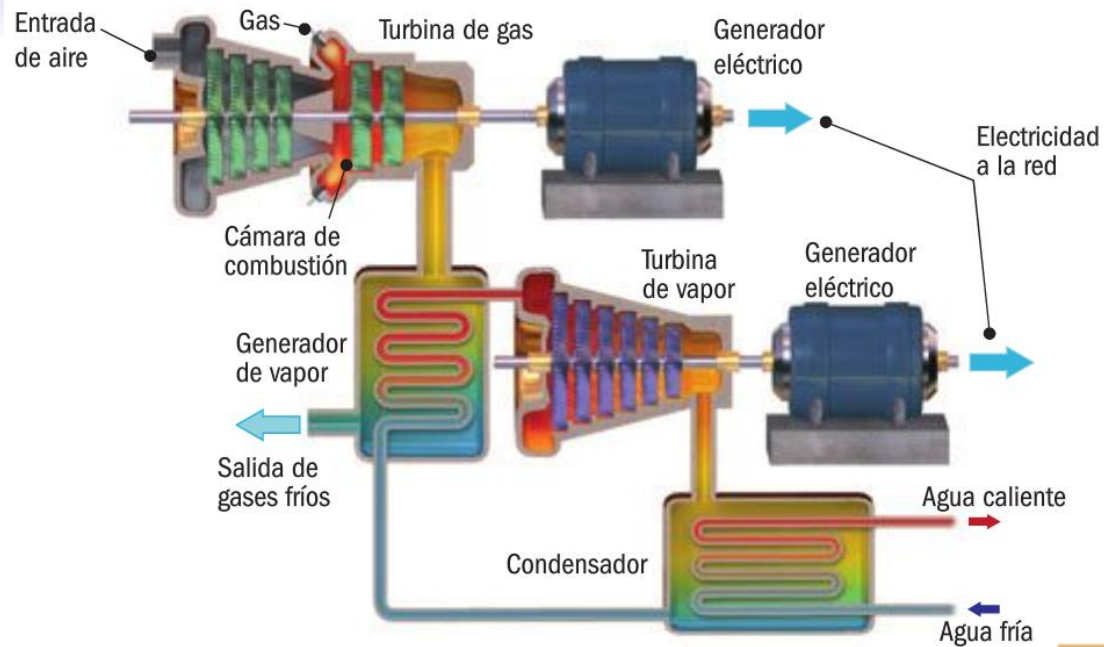
# *O sistema simples de turbina a gás ciclo Brayton*





# Ciclo Combinado

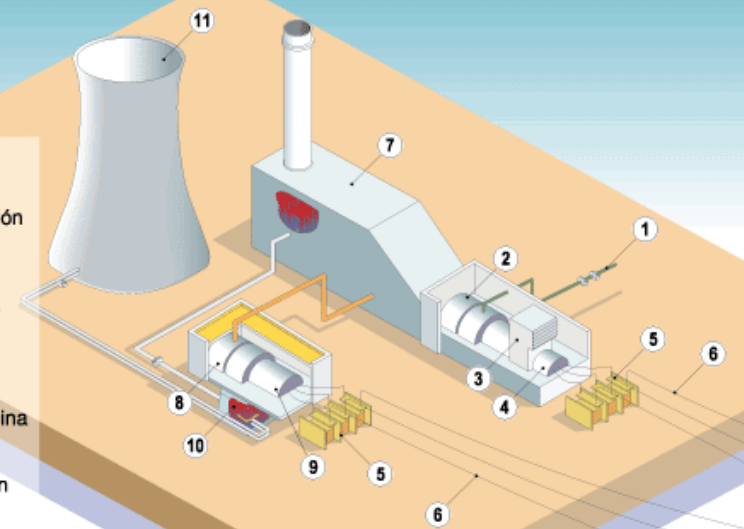
Esquema de una central térmica de ciclo combinado



CENTRAL DE CICLO COMBINADO

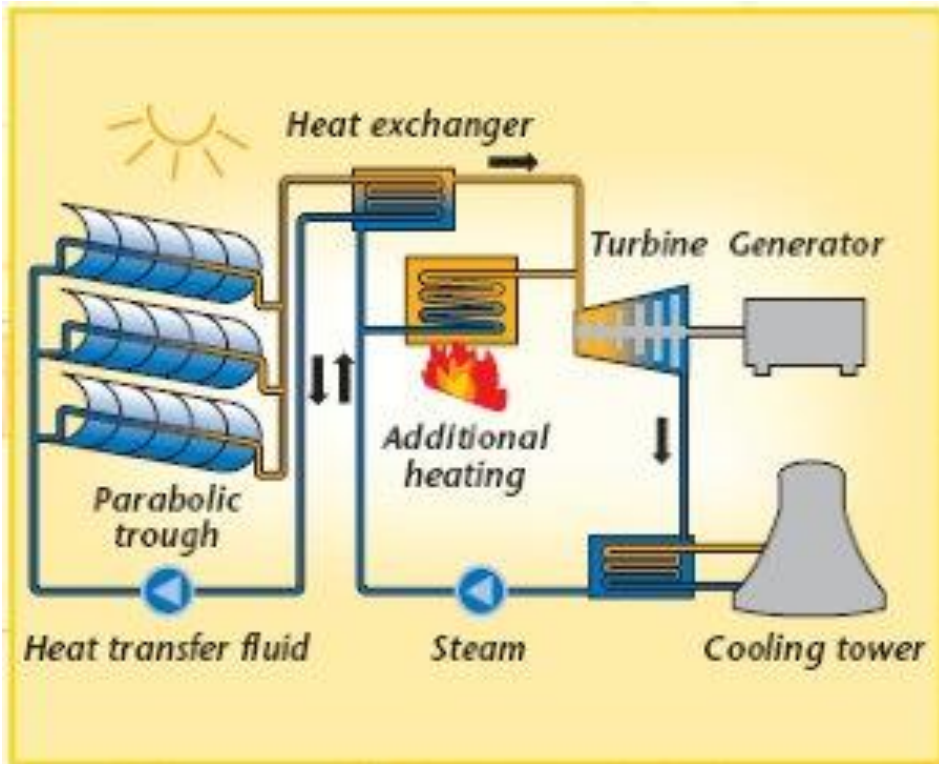
UNESA

- 1 Entrada de aire
- 2 Turbina de gas
- 3 Cámara de combustión
- 4 Generador
- 5 Transformadores
- 6 Líneas de transporte de energía eléctrica
- 7 Caldera de vapor
- 8 Turbina de vapor
- 9 Generador de la turbina de vapor
- 10 Condensador
- 11 Torre de refrigeración



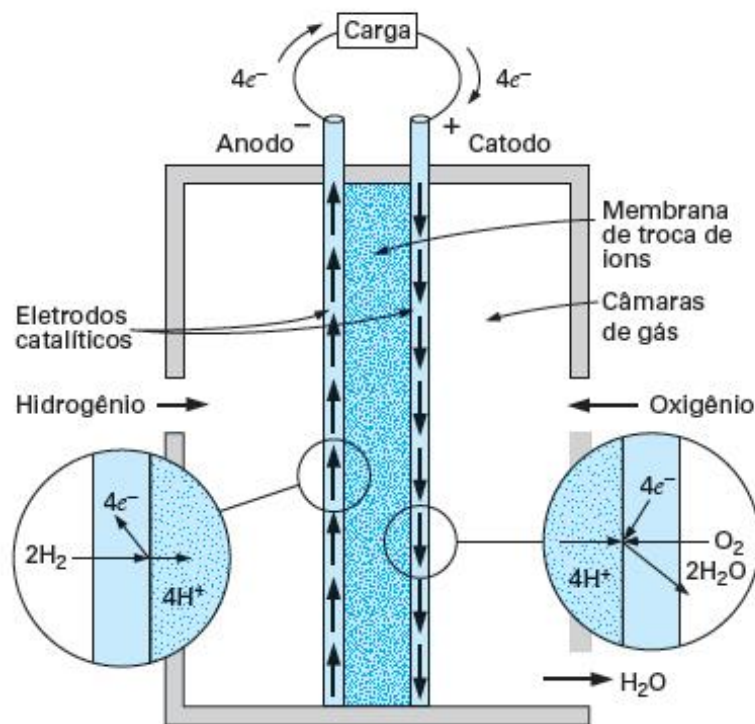
# Nevada Solar Thermal Plant Breaks New Ground

350-acre solar power



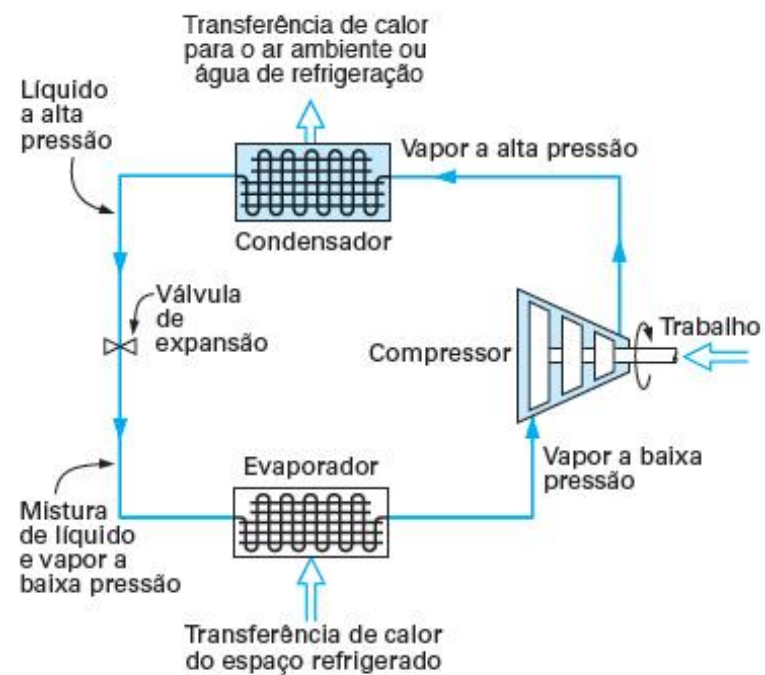
[http://pesn.com/2006/02/12/9600234\\_Schott\\_solar\\_thermal\\_plant/](http://pesn.com/2006/02/12/9600234_Schott_solar_thermal_plant/)

11MW – produção anual de 23 GWh



**Figura 1.5**

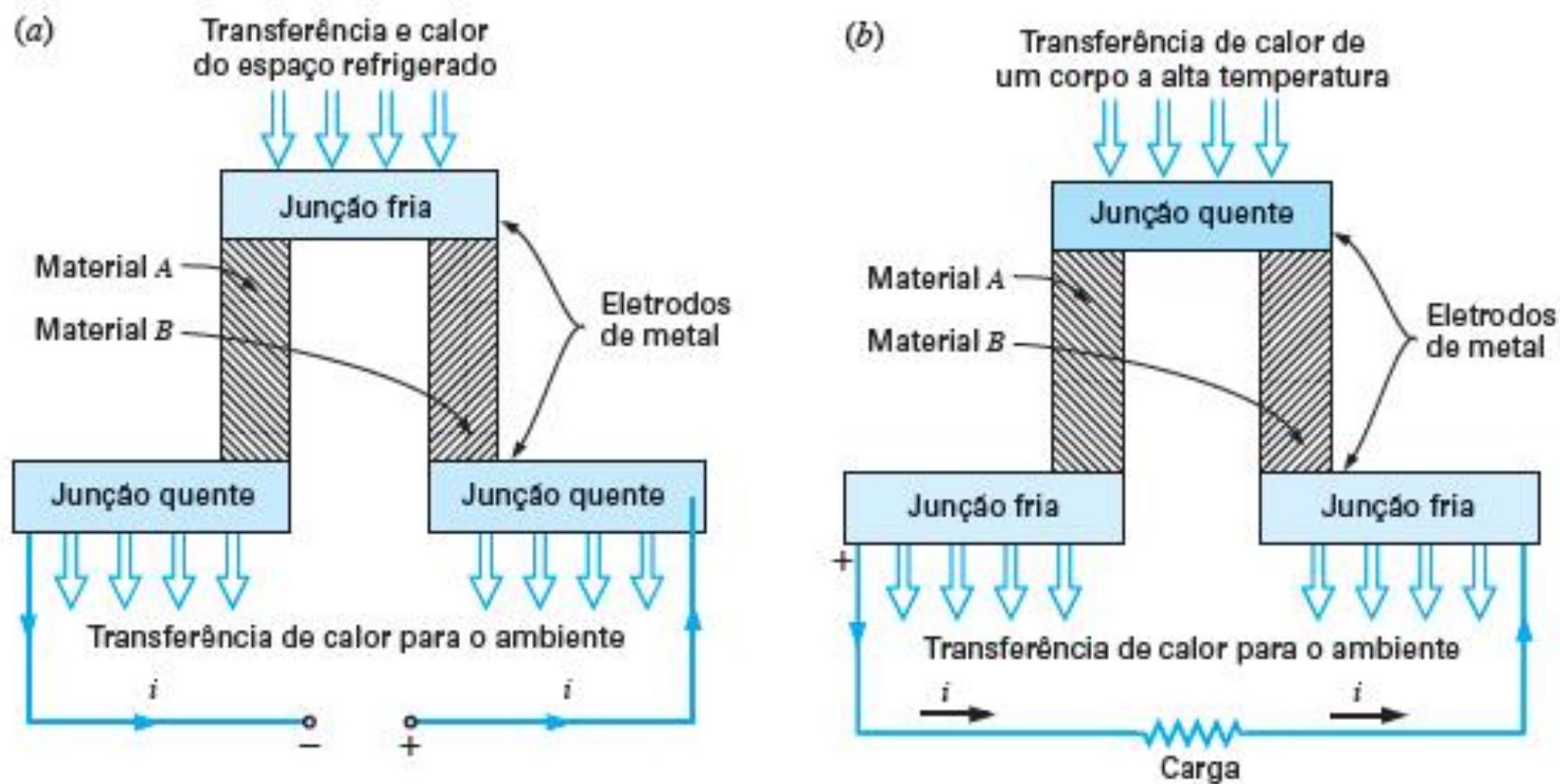
Esquema de uma célula combustível do tipo membrana de troca de íons.



**Figura 1.6**

Esquema de um ciclo simples de refrigeração.

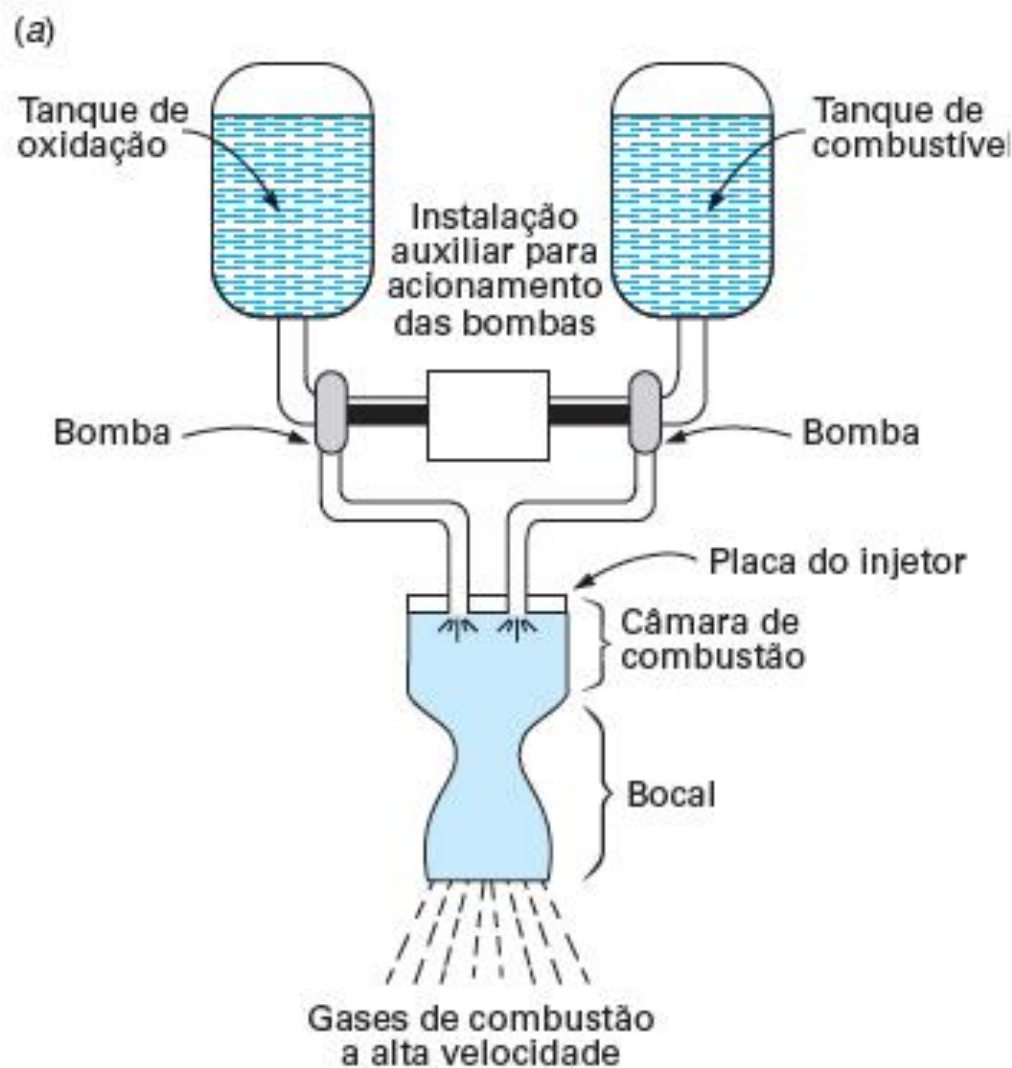




**Figura 1.8**

(a) Refrigerador termoeletrico. (b) Gerador termoeletrico.





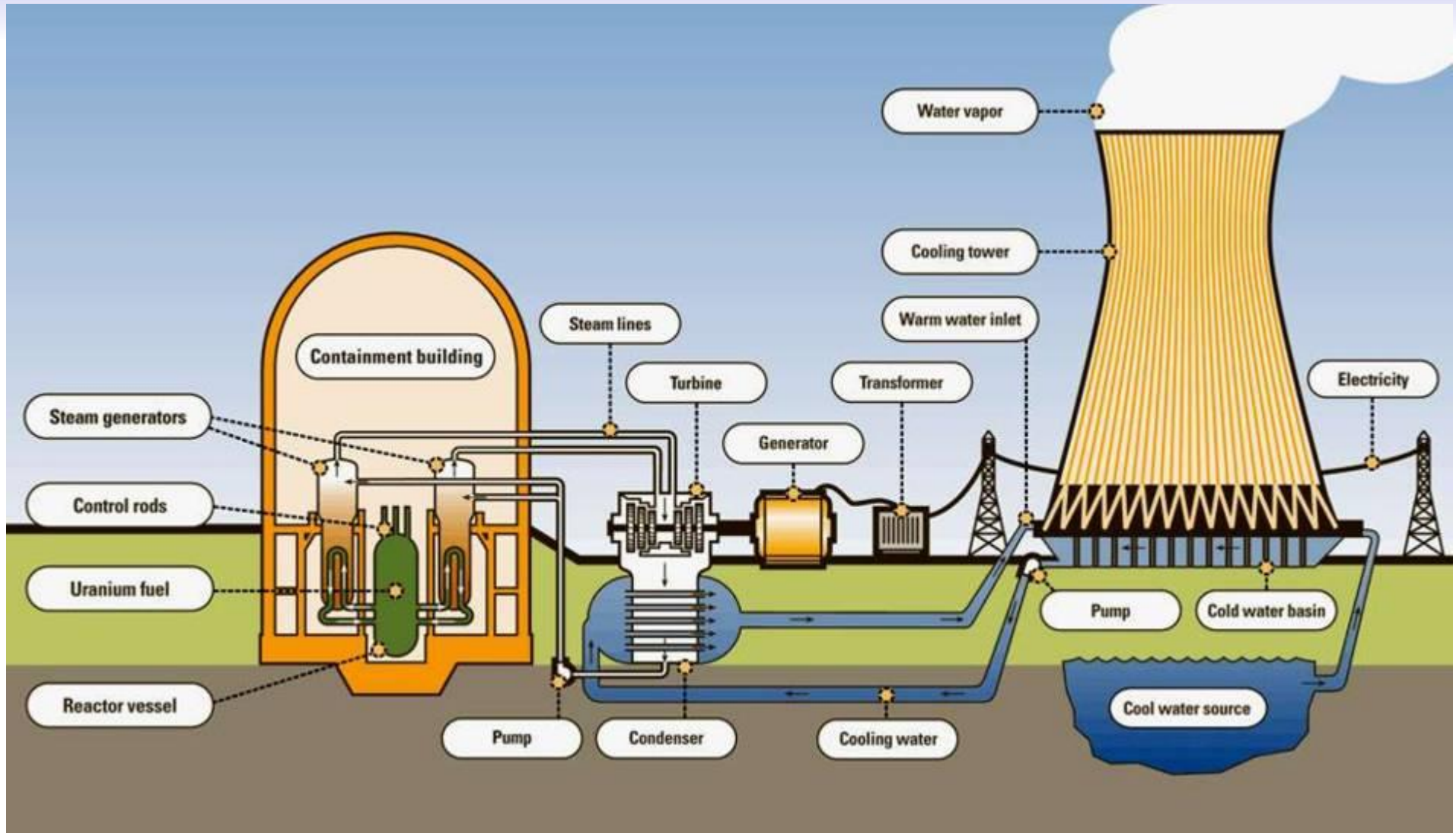
(b)

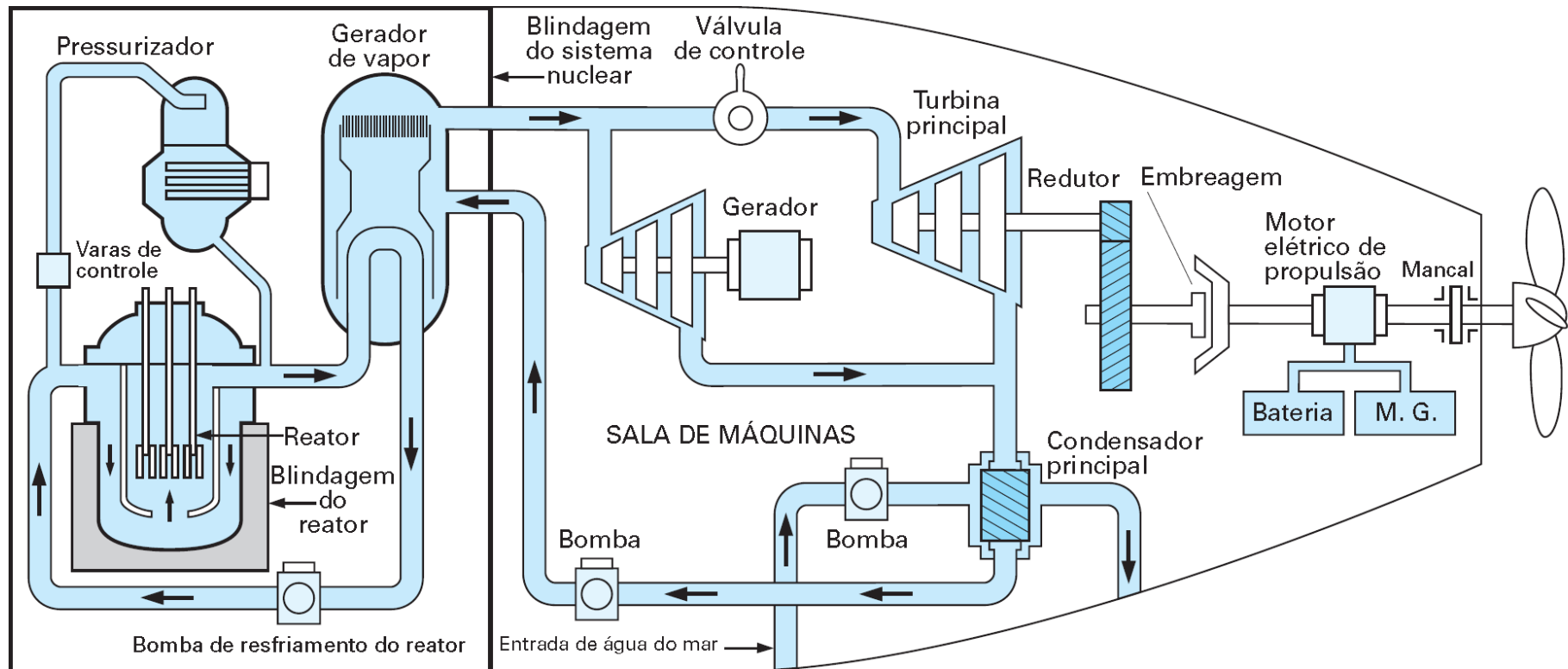


**Figura 1.12**

(a) Esquema simplificado de um foguete a combustível líquido. (b) Fotografia do motor principal de nave espacial da NASA.

# Central nuclear





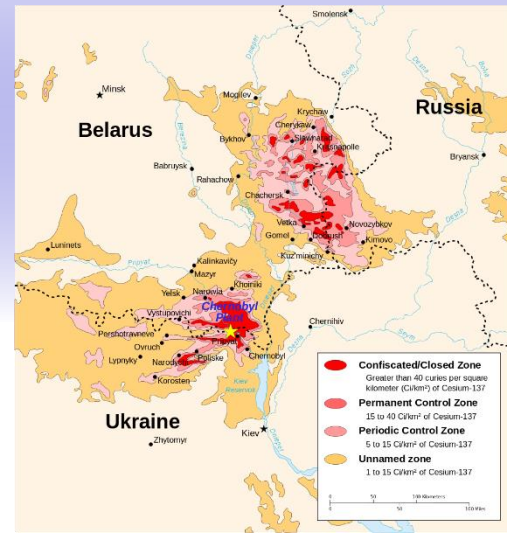
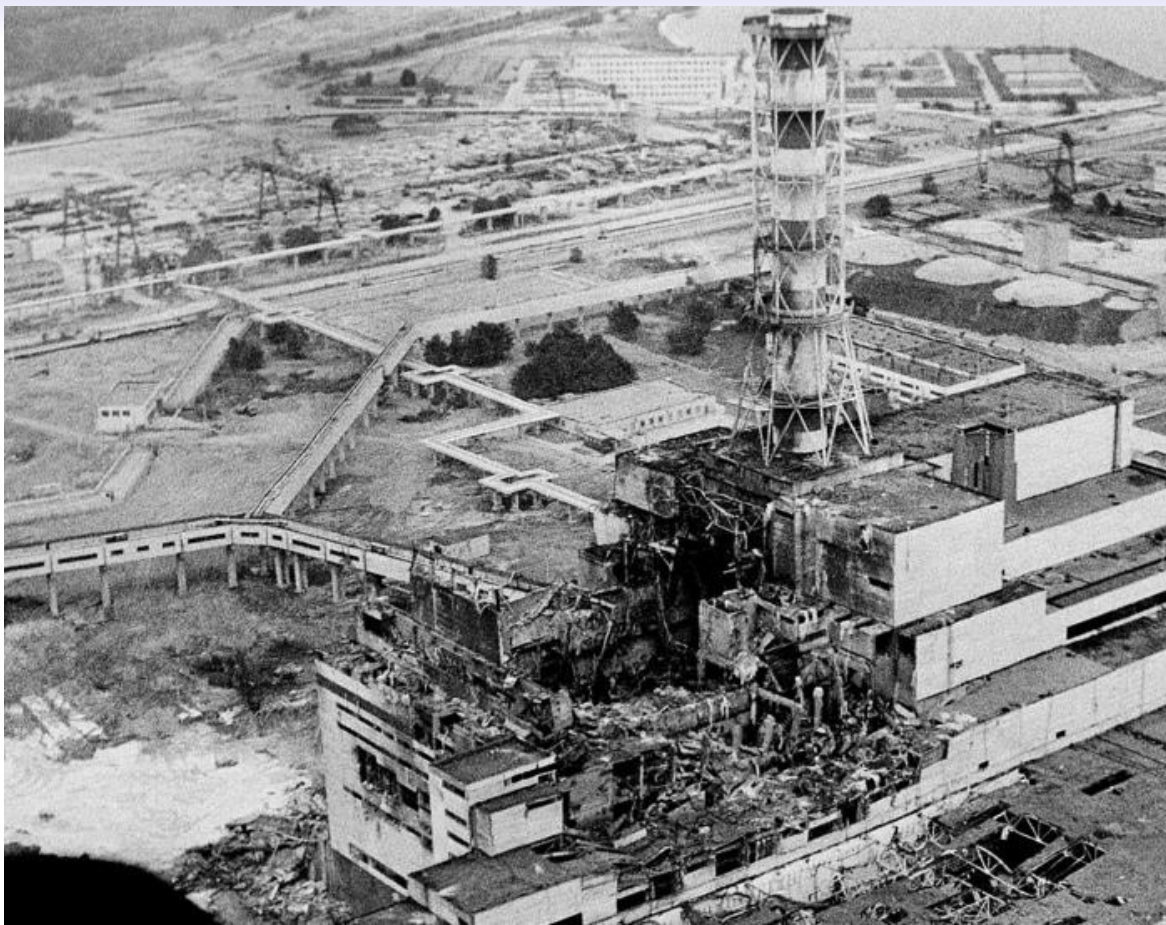
**Figura 1.3**

Diagrama do sistema nuclear de propulsão naval. (Cortesia da Babcock and Wilcox Co.)

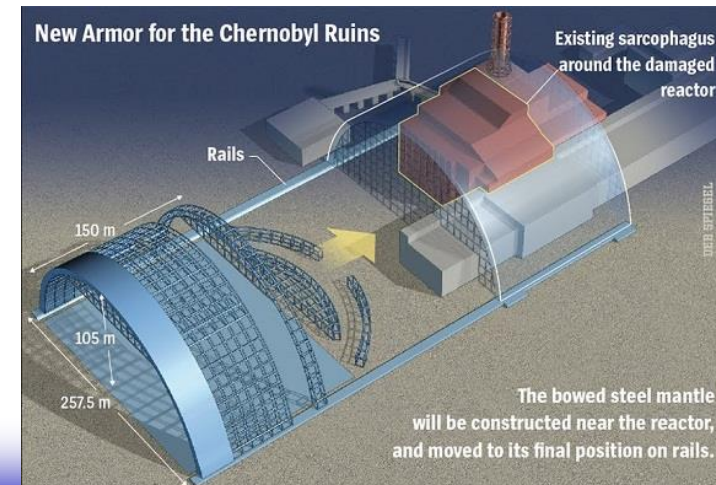


# Chernobyl

## 26 de abril de 1986



O desastre é o pior acidente nuclear da história em termos de custo e de mortes resultantes, além de ser um dos dois únicos classificados como um evento de nível 7 (classificação máxima) na Escala Internacional de Acidentes Nucleares





# ***Fukushima, 11 de março de 2011*** **avaliado no nível 4, numa escala que vai até 7**



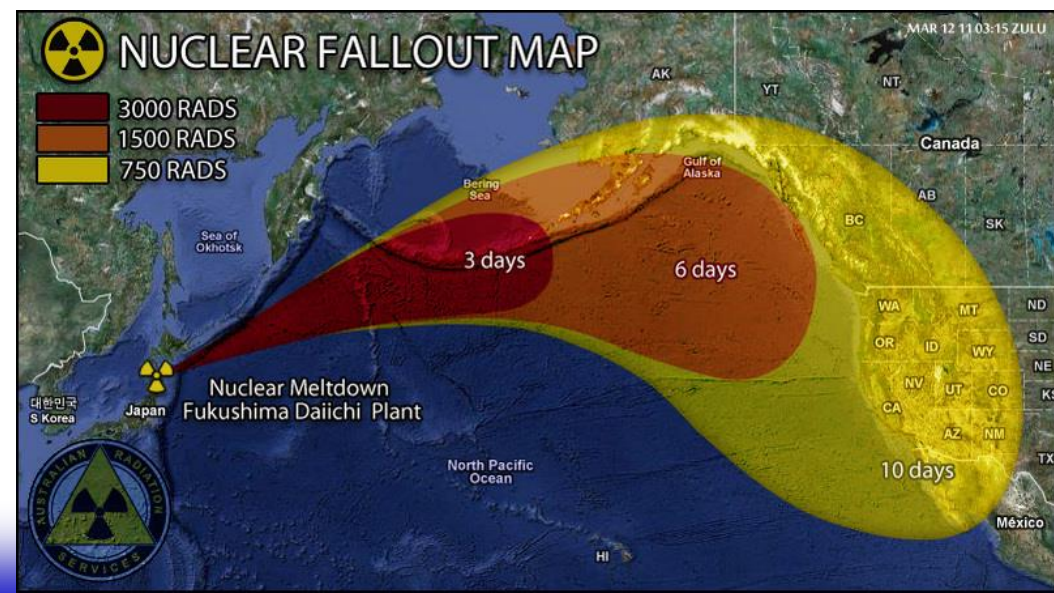
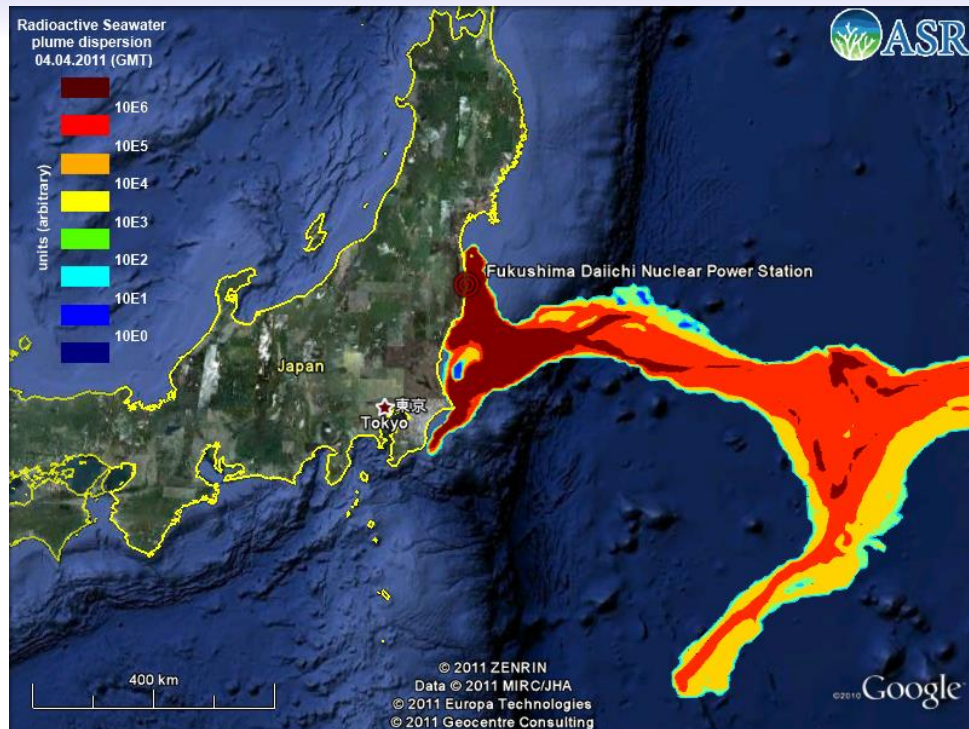


# ***Fukushima, 11 de março de 2011***





# *Fukushima, 11 de março de 2011*





# Acidente radiológico de Goiânia

**A contaminação teve início em 13 de setembro de 1987 foi o maior acidente radioativo do mundo ocorrido fora das usinas nucleares**





R. Cinquenta e Sete - Setor Central, Goiânia - GO, BRA

R. Cinquenta e Cinco

R. Setenta e Quatro

acidente nuc.

R. Treze A

R. Um A



- **O desmonte do equipamento radiológico**
- Foi no ferro-velho de Devair (sobreviveu apesar de ter recebido 7 Gy de radiação.) que a cápsula de césio foi aberta para o reaproveitamento do chumbo. O dono do ferro-velho expôs ao ambiente 19,26 g de **cloreto de césio-137** ( $\text{CsCl}$ ), um sal muito parecido com o **sal de cozinha** ( $\text{NaCl}$ ), mas que emite um brilho azulado quando em local desprovido de luz. Devair ficou encantado com o pó que emitia um brilho azul no escuro.
- Ele mostrou a descoberta para a mulher Maria Gabriela, bem como o distribuiu para familiares e amigos. Pelo fato de esse sal ser higroscópico, ou seja, absorver a **umidade** do ar, ele facilmente adere à roupa, pele e utensílios, podendo contaminar os **alimentos** e o organismo internamente. Devair passou pelo tratamento de descontaminação no Hospital Marcílio Dias, no Rio de Janeiro, e morreu sete anos depois.

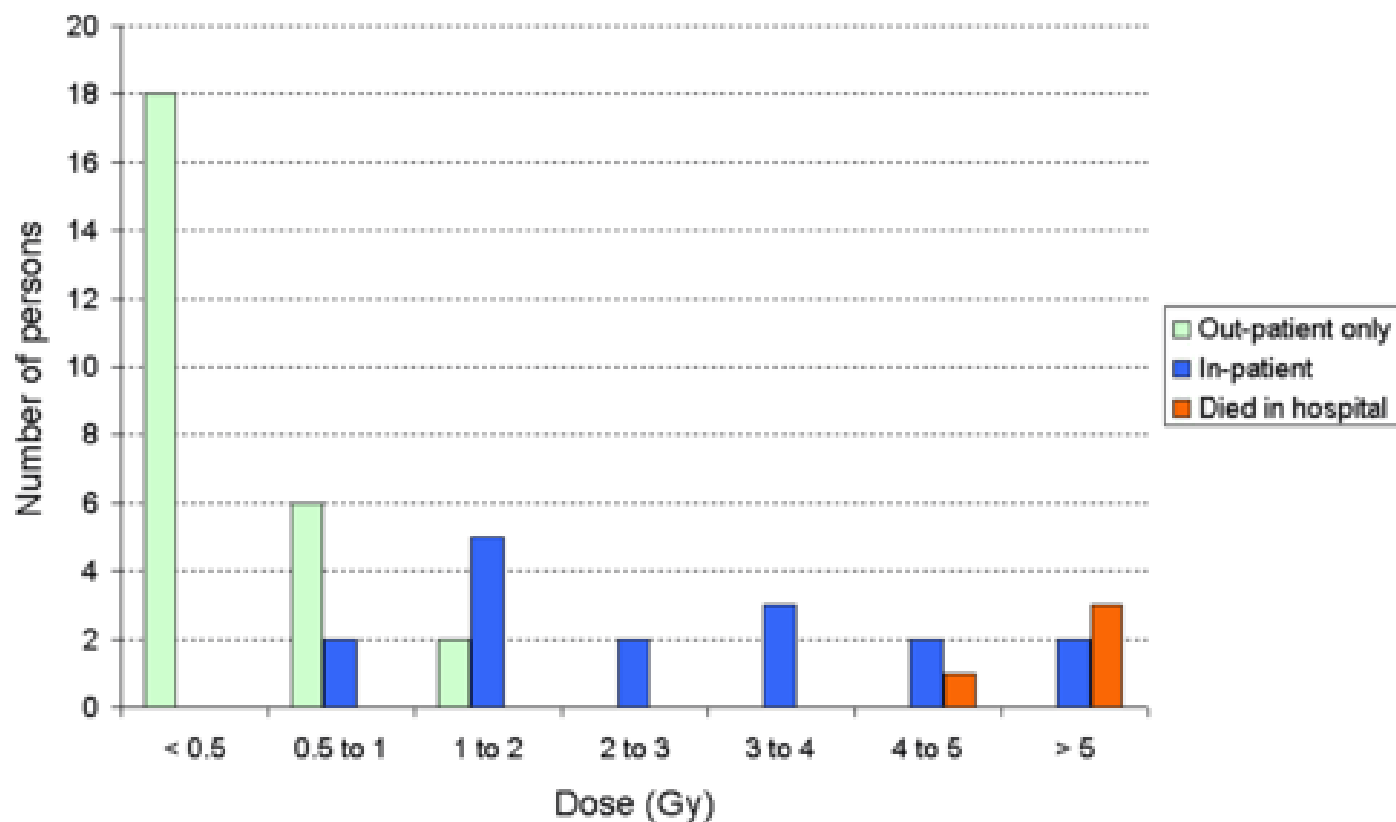
- **A demora na detecção**

- Os profissionais de saúde, vendo os sintomas, pensaram tratar-se de algum tipo de doença contagiosa desconhecida, medicando os doentes em conformidade com os sintomas descritos. **Maria Gabriela, esposa do dono do ferro velho**, desconfiou que aquele pó que emitia um brilho azul era o responsável pelos sintomas que ocorriam na sua família. Ela e um empregado do ferro-velho do marido levaram a cápsula de cézio para a Vigilância Sanitária, que ainda permaneceu durante dois dias sobre uma cadeira, jogada. Durante a entrevista com médicos, a esposa do dono do ferro velho relatou para a junta médica que os vômitos e diarreia se iniciaram depois que seu marido desmontou aquele "aparelho estranho".
- Só então, no dia 29 de setembro de 1987, foi dado o alerta de contaminação por material radioativo de milhares de pessoas. **Maria Gabriela** foi uma dos pacientes tratados no Hospital Marcílio Dias, no Rio de Janeiro. Foi a primeira vítima da contaminação, falecendo no dia 23 de outubro de 1987 de complicações relativas à contaminação com cézio.
- Outra vítima, considerada o retrato da tragédia, **Leide das Neves Ferreira** (filha, 6 anos), ingeriu involuntariamente pequenas quantidades de cézio depois de brincar com o pó azul. A menina foi a vítima com a maior dose de radiação do acidente. Não conseguiu sobreviver e morreu no dia 23 de outubro de 1987, duas horas depois da tia. Foi enterrada em um caixão blindado, erguido por um guindaste, por causa das altas taxas de radiação. O seu enterro virou uma briga judicial, pois os coveiros e a população da época não aceitavam que ela fosse enterrada em um caixão, mas sim cremada para que os seus restos mortais não contaminassem o solo do cemitério e as outras covas. Depois de dias de impasse, ela foi enterrada em um caixão de chumbo lacrado para que a radiação não fosse transmitida.
- O governo da época tentou minimizar o acidente escondendo dados da população, que foi submetida a uma "seleção" no estádio olímpico; os governantes da época escondiam a tragédia da população, que aterrorizada procurava por auxílio, dizendo ser apenas um vazamento de gás.

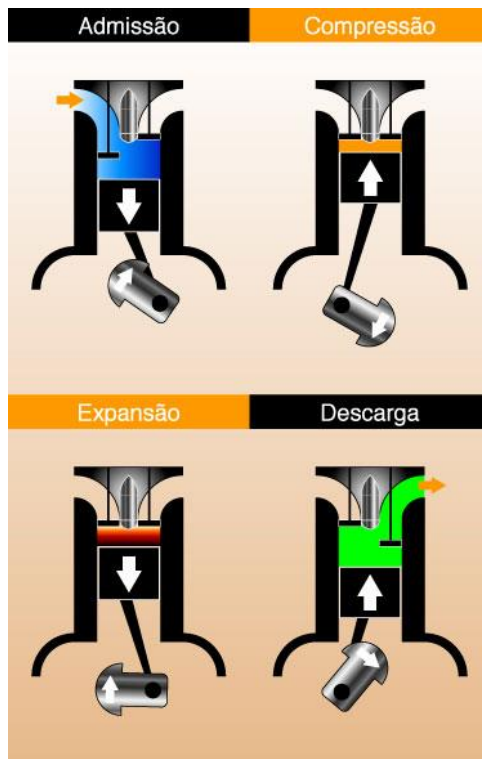
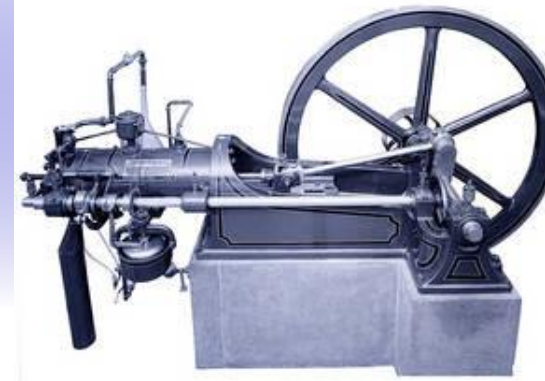
- A Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) mandou examinar toda a população da região. No total 112 800 pessoas foram expostas aos efeitos do césio, muitas com contaminação corporal externa revertida a tempo. Destas, 129 pessoas apresentaram contaminação corporal interna e externa concreta, vindo a desenvolver sintomas e foram apenas medicadas. Porém, 49 foram internadas, sendo que 21 precisaram sofrer tratamento intensivo; destas, quatro não resistiram e acabaram morrendo.
- Muitas casas foram esvaziadas, e limpadores a vácuo foram usados para remover a poeira antes das superfícies serem examinadas para detecção de radioatividade. Para uma melhor identificação, foi usada uma mistura de ácido e tintas azuis. Telhados foram limpos a vácuo, mas duas casas tiveram seus telhados removidos. Objetos como brinquedos, fotografias e utensílios domésticos foram considerados material de rejeito. O que foi recolhido com a limpeza foi transferido para o Parque Estadual Telma Ortegai.
- **Até à atualidade, todos os contaminados ainda desenvolvem enfermidades relativas à contaminação radioativa.** Após vinte anos do desastre radioativo, as várias pessoas contaminadas pela radioatividade reclamam por não estarem recebendo os medicamentos, que, segundo leis instituídas, deveriam ser distribuídos pelo governo.
- Em uma casa, em que o césio foi distribuído, a residente, esposa do comerciante vizinho à Devair, jogou o elemento radioativo no vaso sanitário e, em seguida, deu descarga. O imóvel ficou conhecido como "casa da fossa". Entretanto, a SANEAGO alegou que a casa não possuía fossa, sendo construída com cisterna, para a população não pensar que a água da cidade estaria hipoteticamente contaminada.
- A limpeza produziu 13,4 toneladas de **lixo atômico**, que necessitou ser acondicionado em 14 contêineres que foram totalmente lacrados . Dentro destes estão 1.200 caixas e 2.900 tambores, que permanecerão perigosos para o meio ambiente por 180 anos. Para armazenar esse lixo atômico o Parque Estadual Telma Ortegai foi criado em Goiânia, onde se encontra uma "montanha" artificial. Assim, os rejeitos foram enterrados em uma vala de aproximadamente 30 (trinta) metros de profundidade, revestida de uma parede de aproximadamente 1 (um) metro de espessura de concreto e chumbo, e sobre a vala foi construída a montanha.



Gráfico de barras mostrando o resultado para as 46 pessoas mais contaminados e uma estimativa de dose. As pessoas são divididas em sete grupos de acordo com a dose.



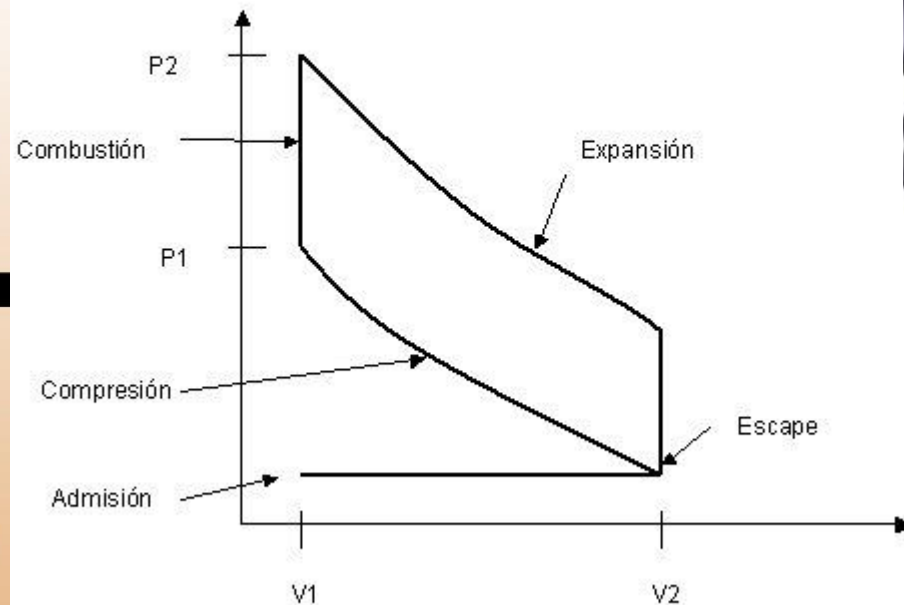
# Ciclo Otto



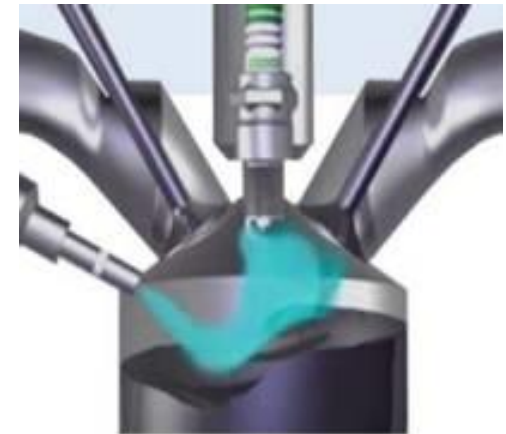
[www.castrol.com/castrol](http://www.castrol.com/castrol)

## CICLO OTTO TEORICO

Diagrama P-V

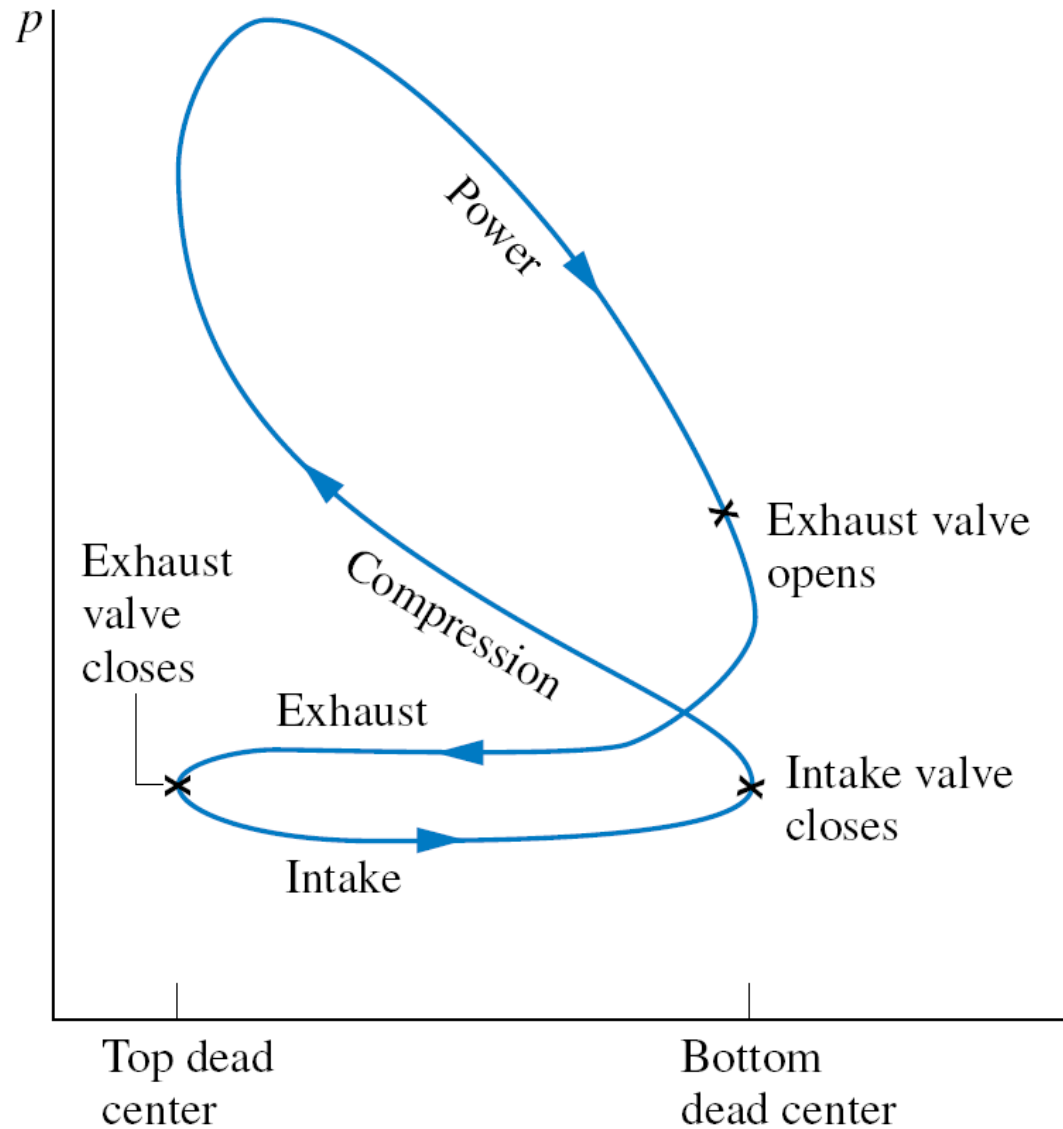
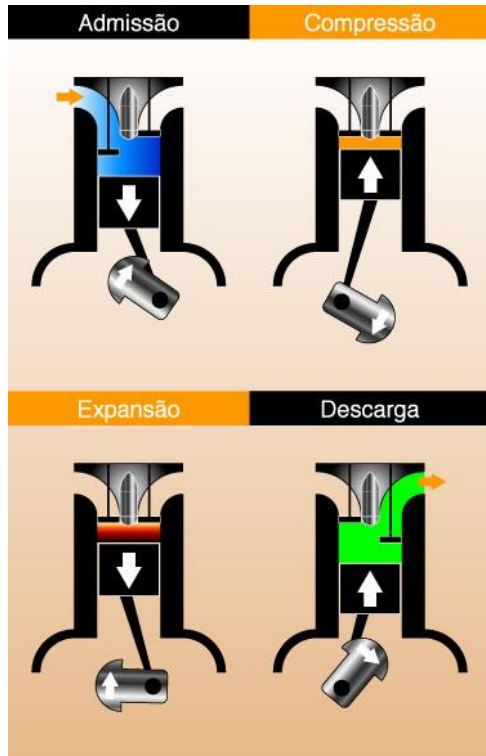


[www.mailxmail.com/curso/vida/motoresdecombustion](http://www.mailxmail.com/curso/vida/motoresdecombustion)



[www.martinoauto.it](http://www.martinoauto.it)

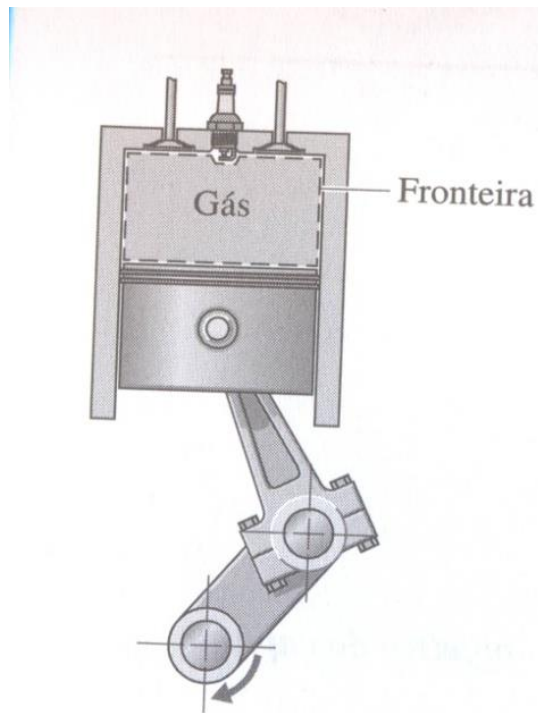
# O ciclo real



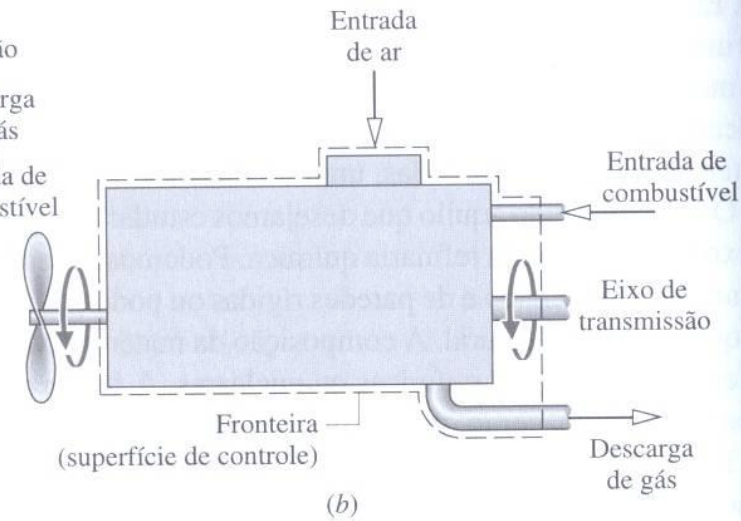
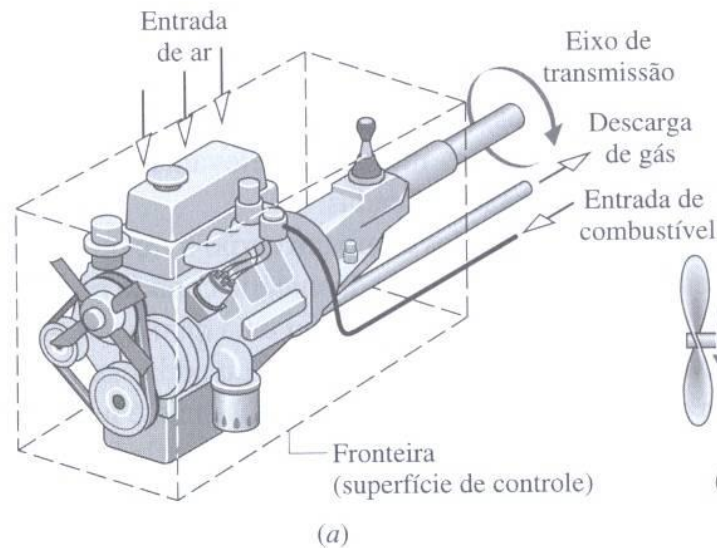
# Cap. 1 - Conceitos introdutórios e definições

➤ Sistema, Meio, Fronteira;

• Sistema fechado e Volume de controle



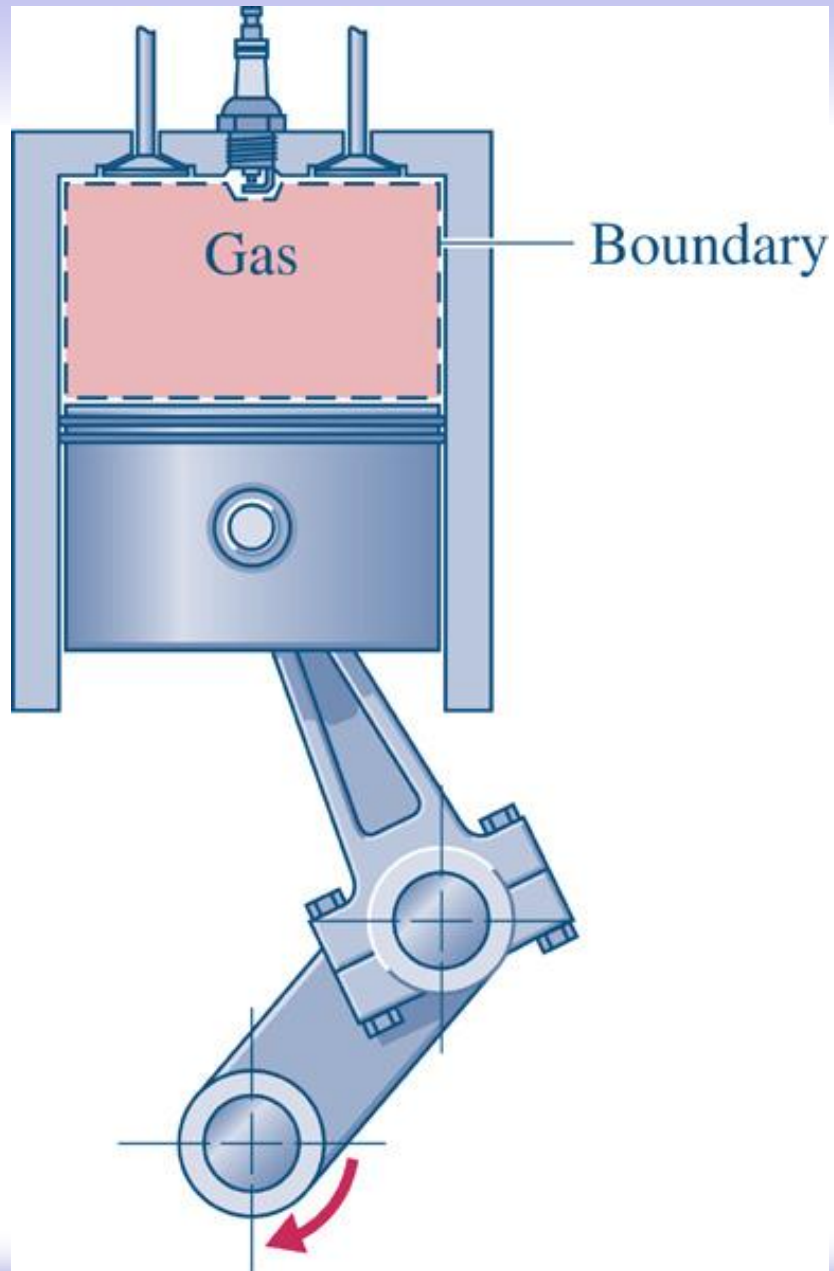
Sistema fechado  
com as válvulas fechadas



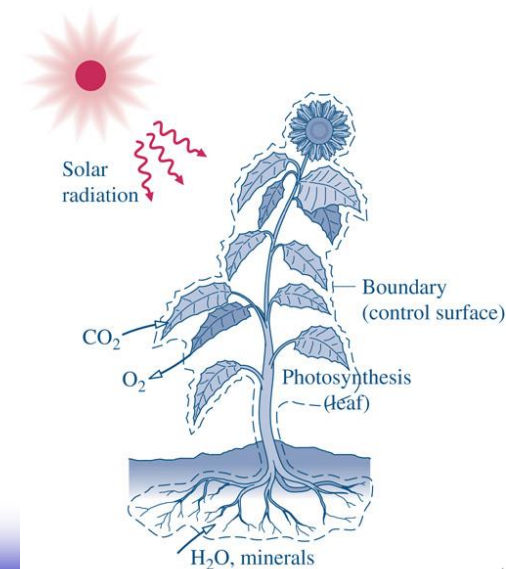
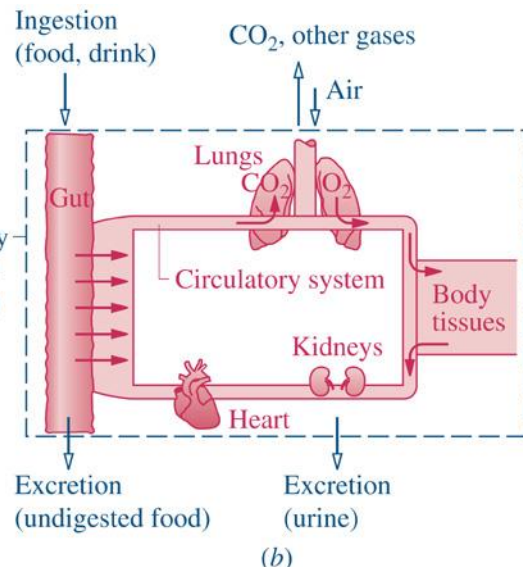
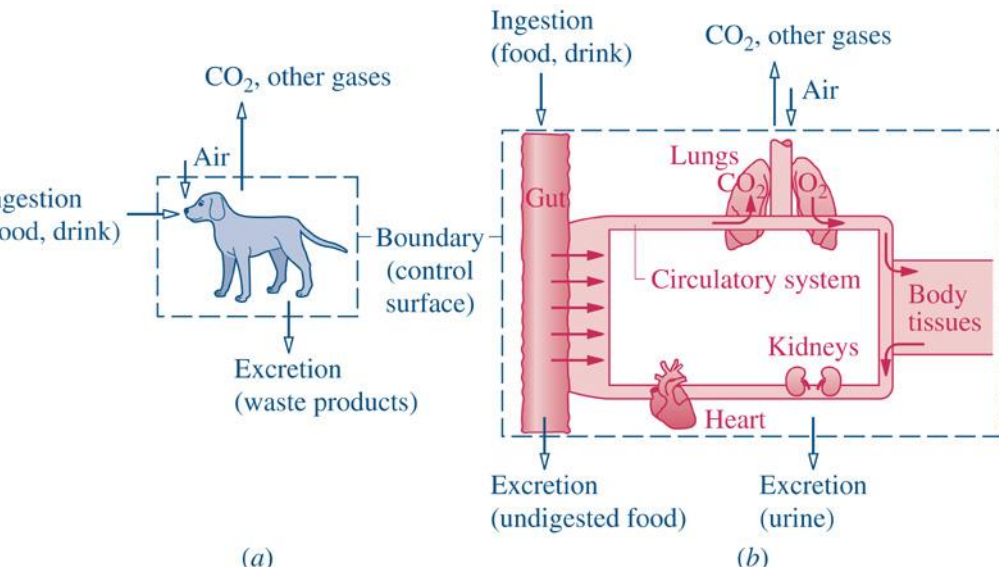
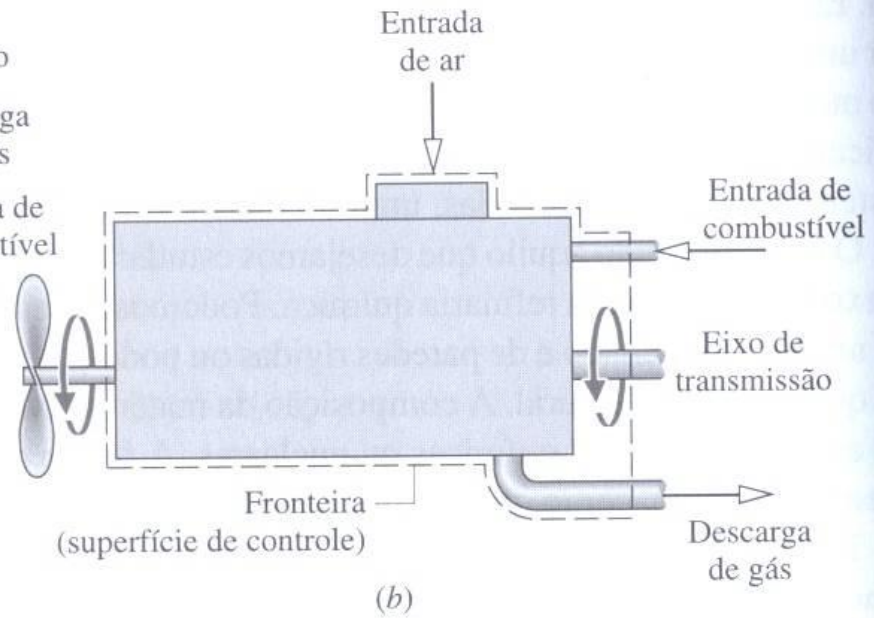
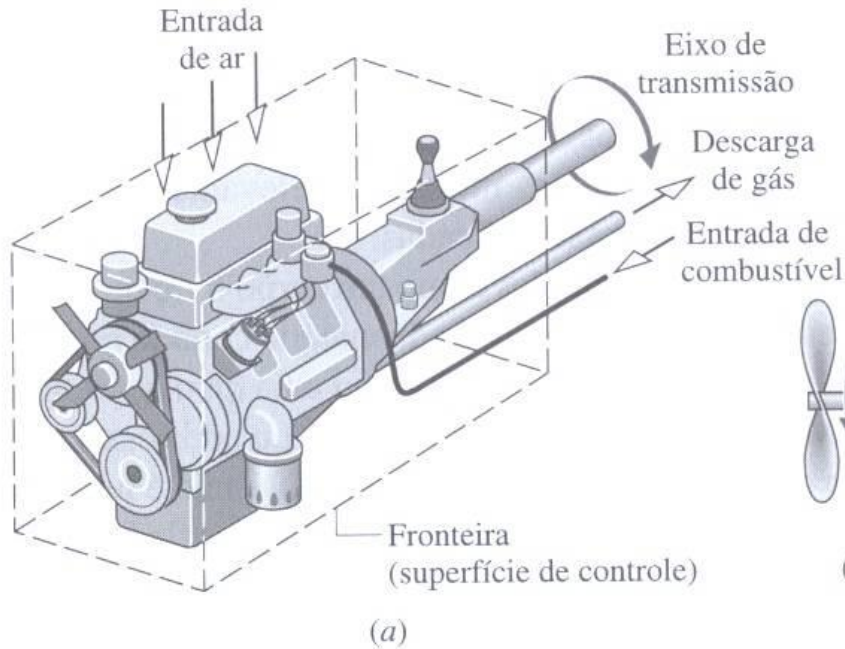
Volume de controle ou sistema aberto



# *Sistema fechado*



# Volume de controle



# *Conceitos introdutórios e definições*

- Termodinâmica Clássica e Termodinâmica Estatística.
  - Macroscópico e microscópico.
- Propriedade (Temp. Pressão, volume, massa, energia,...)
- Estado
- Processo

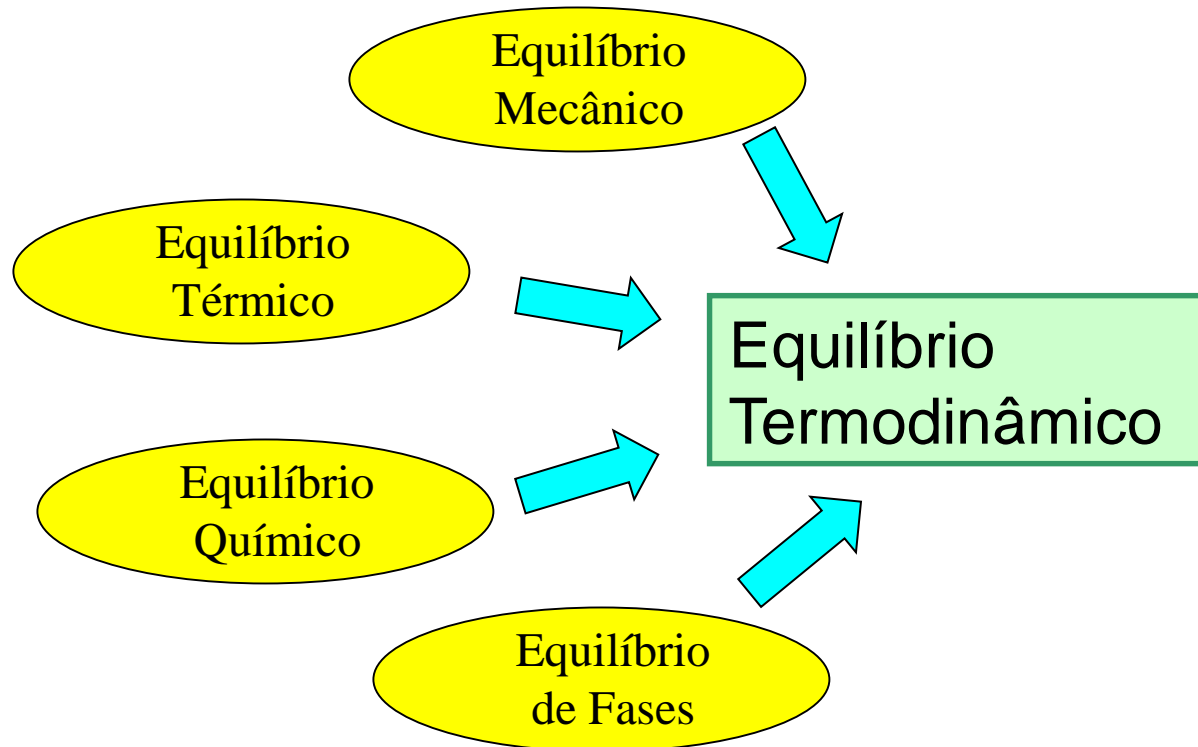
# *Conceitos introdutórios e definições*

- Propriedades extensivas
  - Massa, Volume, Energia,...
- propriedades intensivas
  - Massa específica, pressão, temperatura, energia específica,...
- Regime permanente ou estado estacionário
- Regime Transiente ou transitório



# Conceitos introdutórios e definições:

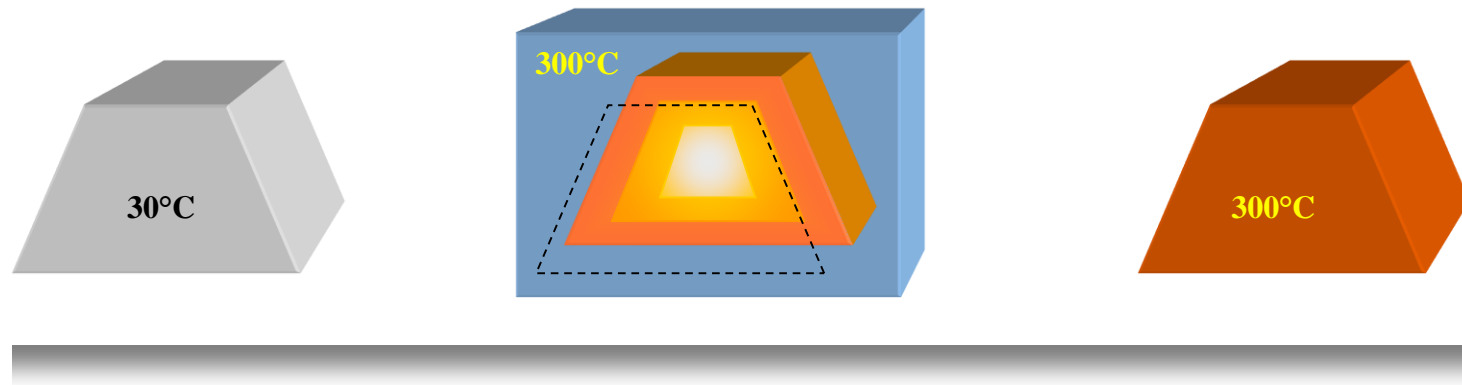
## Equilíbrio



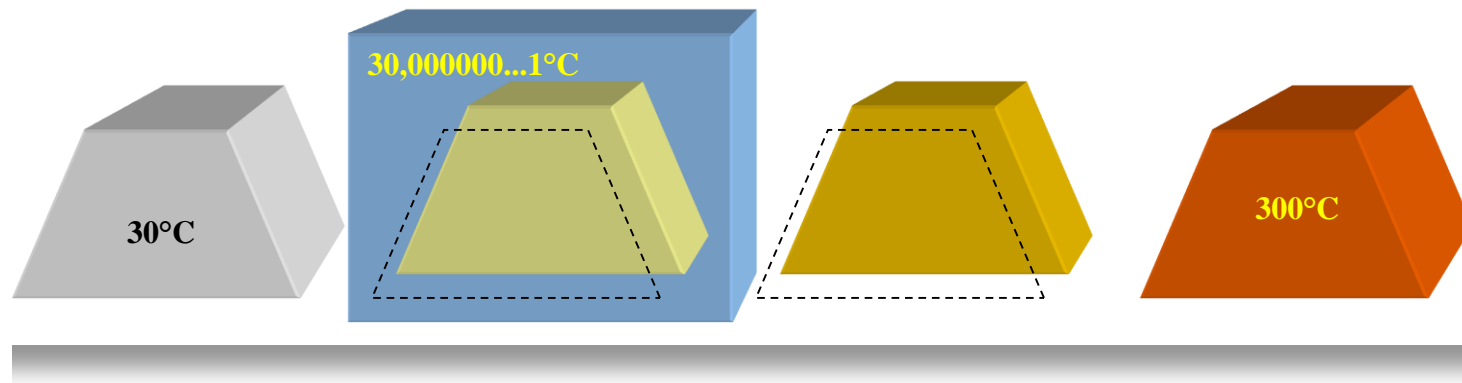
- Um estado de um sistema é um estado de equilíbrio se ele tende a permanecer depois que as interações entre o sistema e o meio são interrompidas (isolado).

# Processo de não-equilíbrio e processo de quase-equilíbrio

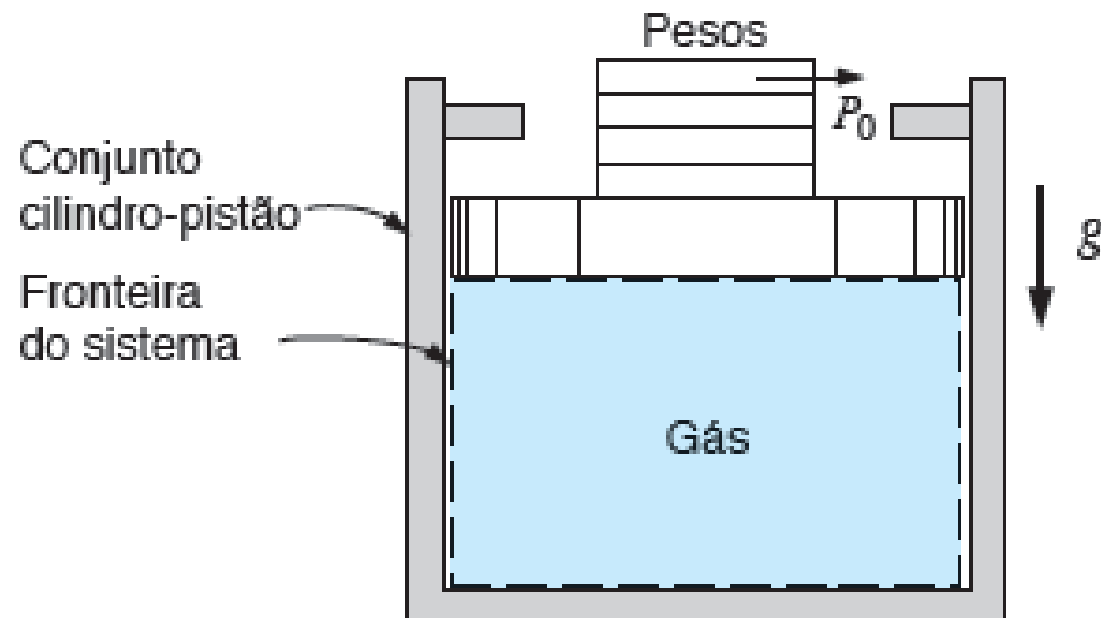
Processo de não-equilíbrio:



Processo de quase-equilíbrio:



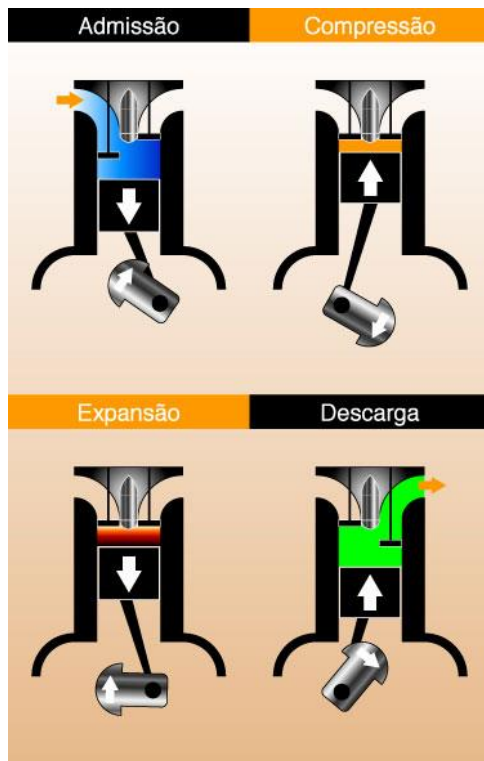
# Exemplo de Processo de quase-equilíbrio



**Figura 2.3**

Exemplo de um processo de quase-equilíbrio num sistema.

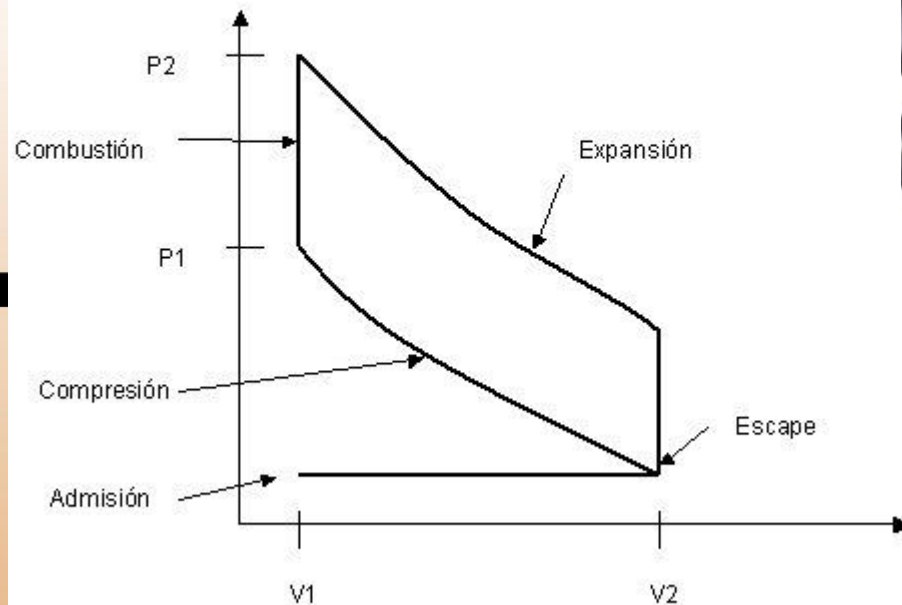
# Processo de não-equilíbrio



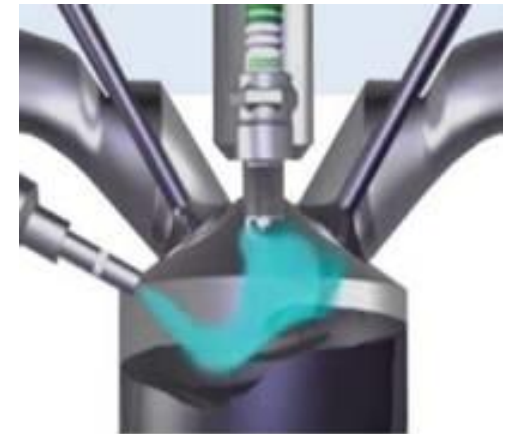
[www.castrol.com/castrol](http://www.castrol.com/castrol)

## CICLO OTTO TEORICO

Diagrama P-V



[www.mailxmail.com/curso/vida/motoresdecombustion](http://www.mailxmail.com/curso/vida/motoresdecombustion)



[www.martinoauto.it](http://www.martinoauto.it)



# *Sistema de unidades*

## Units for Mass, Length, Time, and Force

Quantity	SI		English	
	Unit	Symbol	Unit	Symbol
mass	kilogram	kg	pound mass	lb
length	meter	m	foot	ft
time	second	s	second	s
force	newton (= 1 kg · m/s <sup>2</sup> )	N	pound force (= 32.1740 lb · ft/s <sup>2</sup> )	lbf

# Massa específica e volume específico

- hipótese do contínuo

$$\rho = \lim_{V \rightarrow V'} \frac{m_V}{V} \quad v = \frac{1}{\rho}$$

- [kg/m<sup>3</sup>                      -                      m<sup>3</sup>/kg]

- $m = \int_V \rho(\vec{r}) dV$

- $n = \frac{m}{M} \text{ [mol]}$

- $\bar{v} = Mv \text{ [volume específico molar]}$

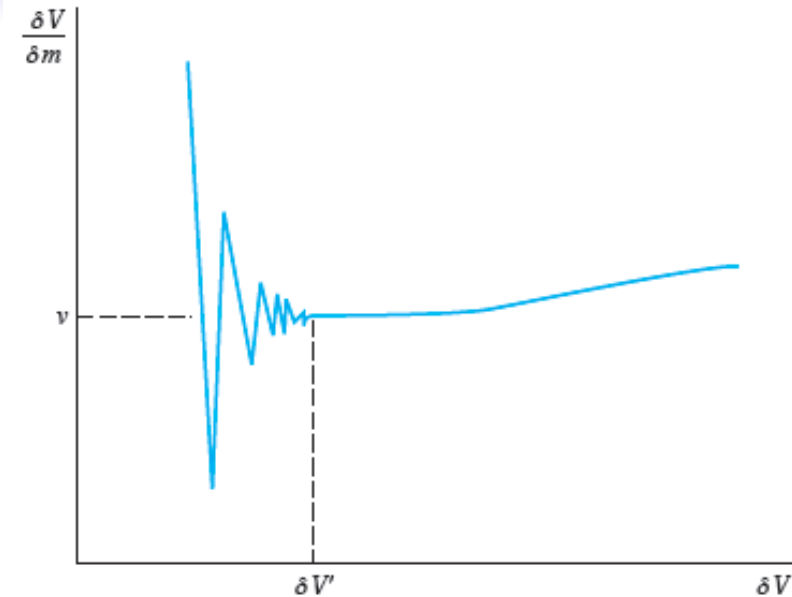
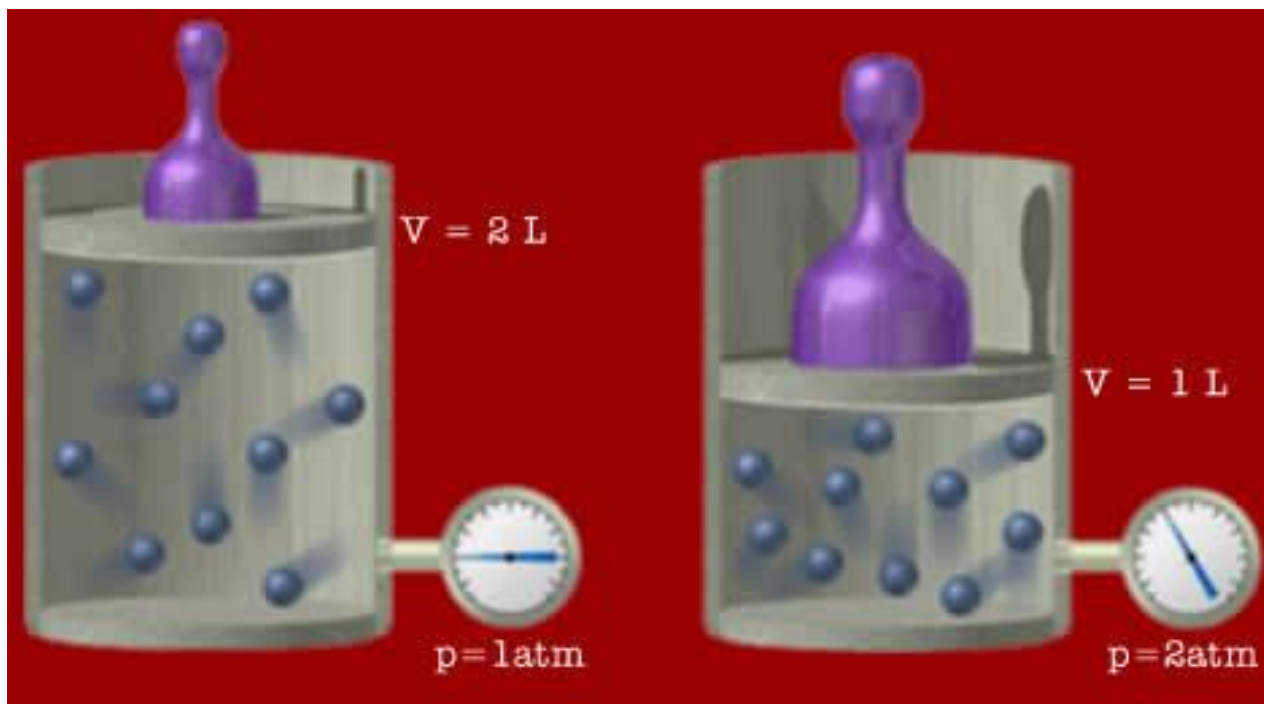


Figura 2.7

Limite do contínuo para o volume específico.

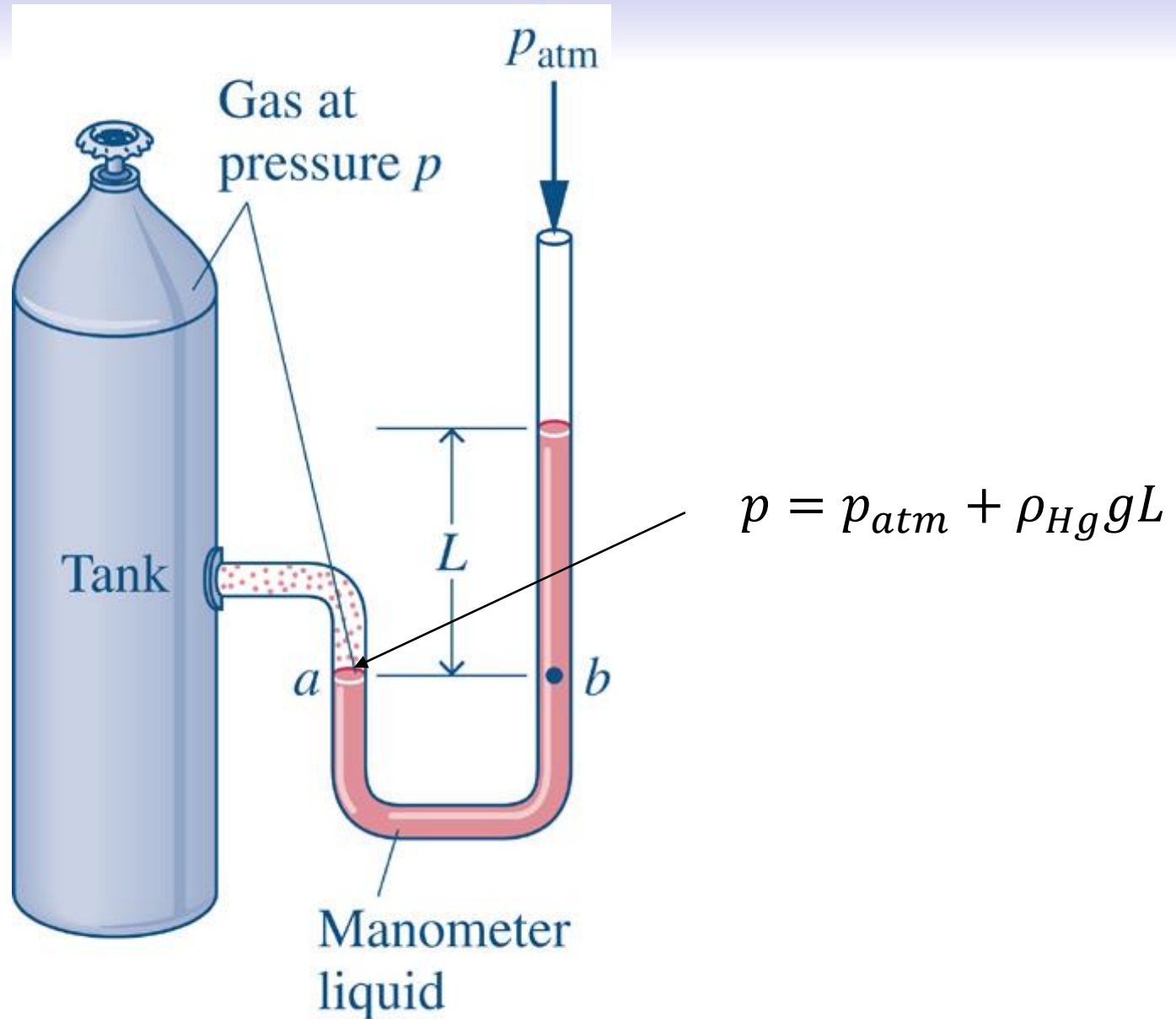
# Pressão

$$p = \lim_{A \rightarrow A'} \frac{F_{normal}}{A}$$

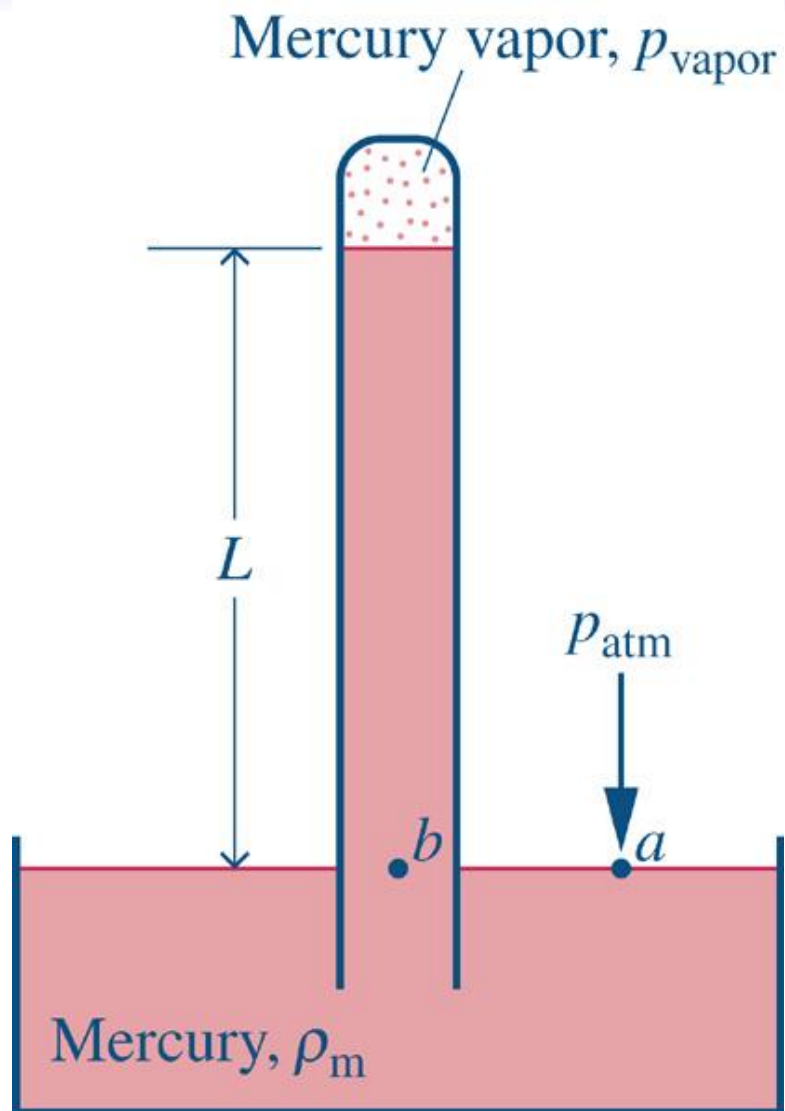




# Pressão

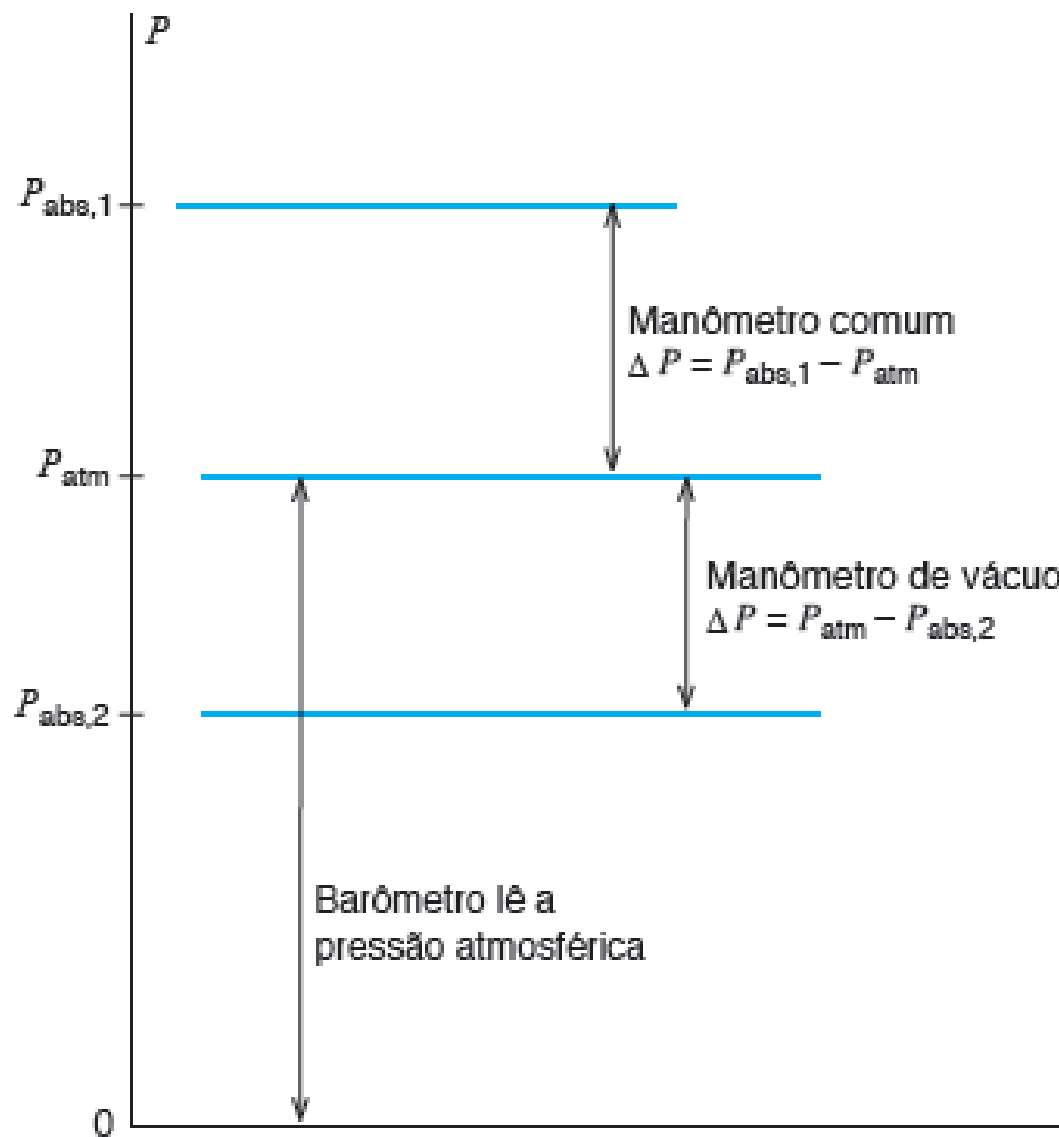


# Barômetro



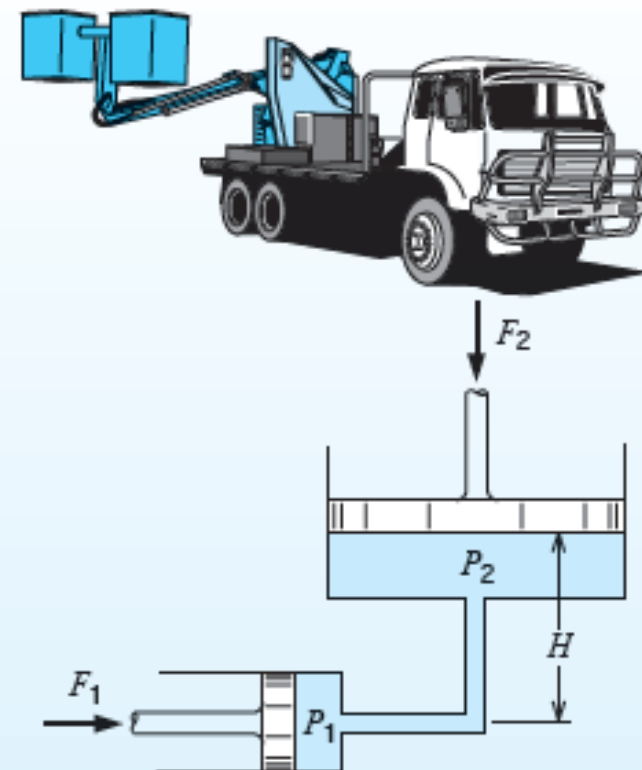
barômetro de fortin

[www.rosignanometeo.altervista.org](http://www.rosignanometeo.altervista.org)



**Figura 2.12**

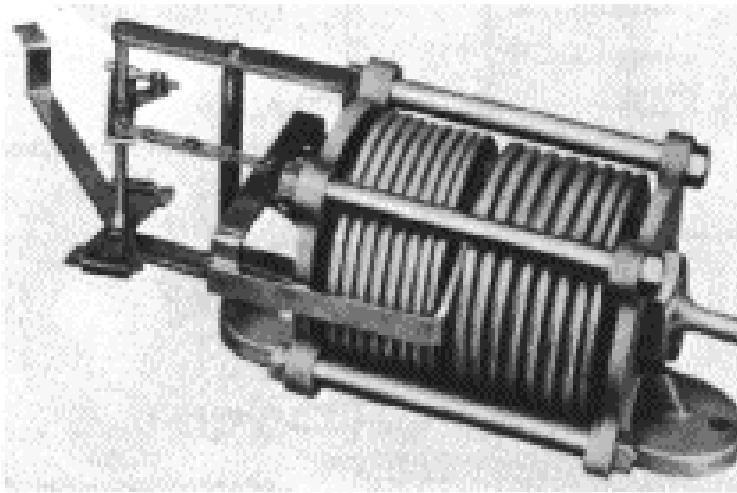
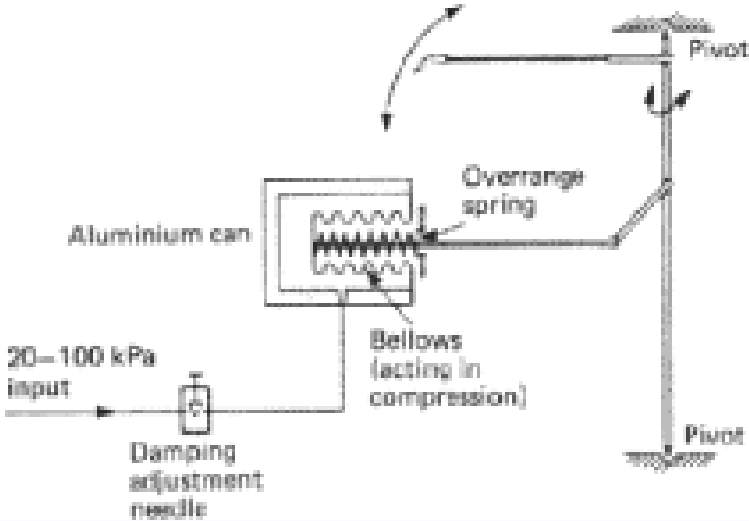
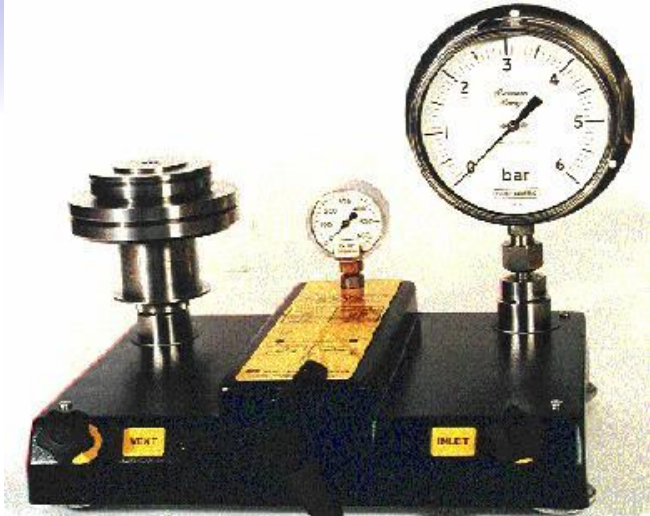
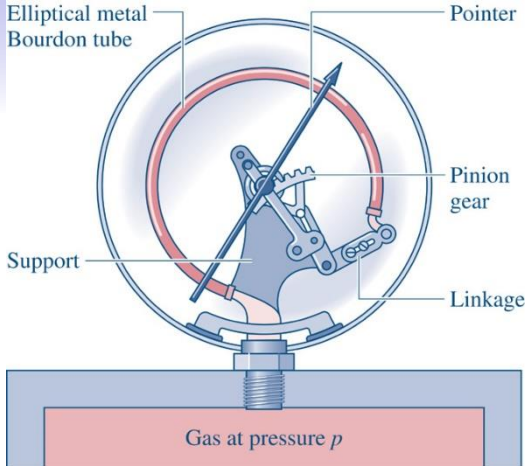
Ilustração dos termos utilizados em medidas de pressão.



**Figura 2.16**

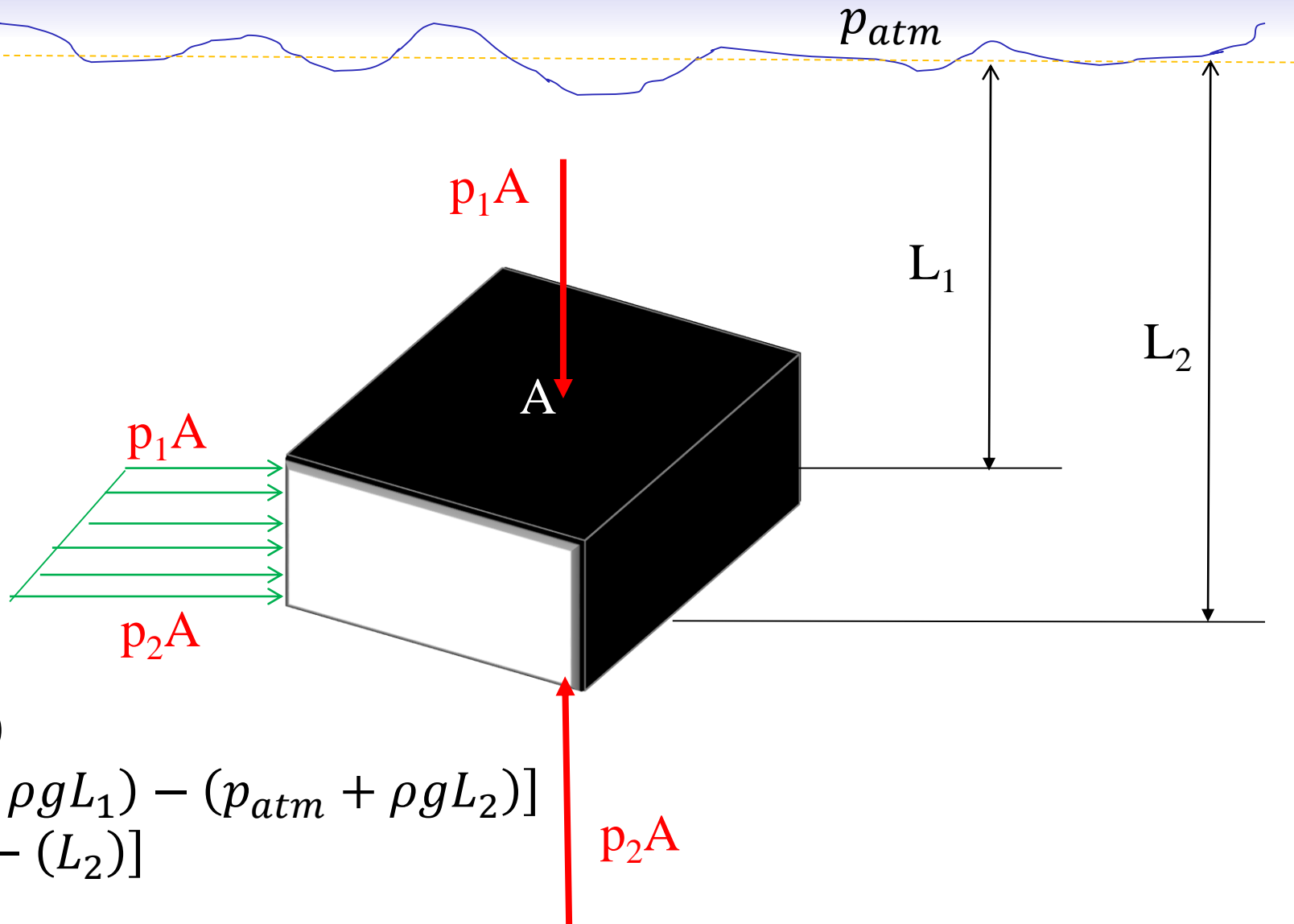
Esboço para o Exemplo 2.7.

- Medidor de pressão de bourdon e de fole





# *Empuxo*



$$F_R = A(p_2 - p_1)$$

$$F_R = A[(p_{atm} + \rho g L_1) - (p_{atm} + \rho g L_2)]$$

$$F_R = \rho g A[(L_1) - (L_2)]$$

$$F_R = \rho g V$$

# ***Pressão - Unidades***

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ MPa} = 10^3 \text{ kPa} = 10^6 \text{ Pa}$$

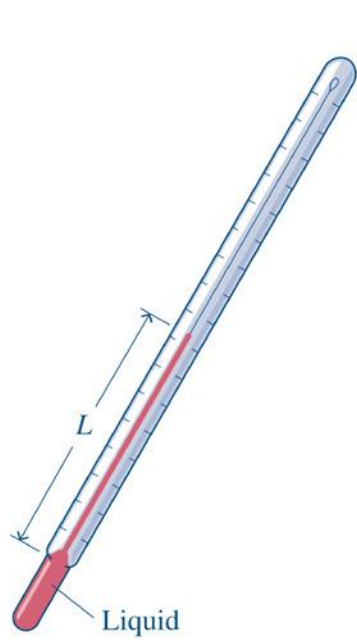
$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ atm} = 101,325 \text{ kPa}$$

$$1 \text{ atm} = 14,696 \text{ lbf/in}^2$$

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 29,92 \text{ inHg}$$

# *Temperatura*



(a)



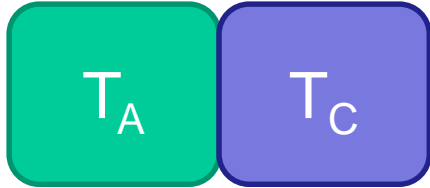
(b)



(c)



# *Lei Zero da Termodinâmica*



$$T_A = T_C$$

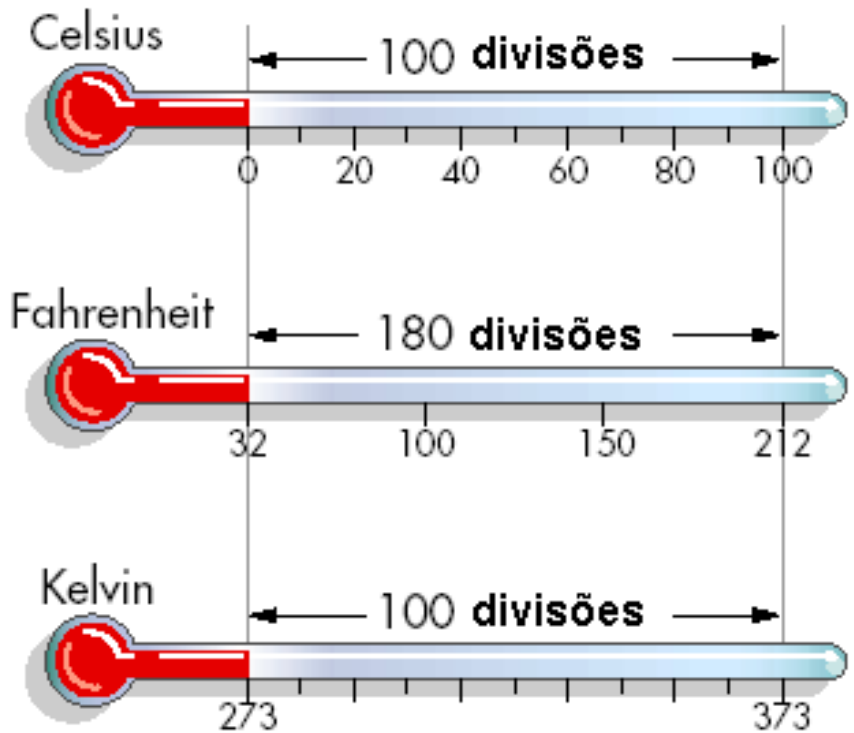
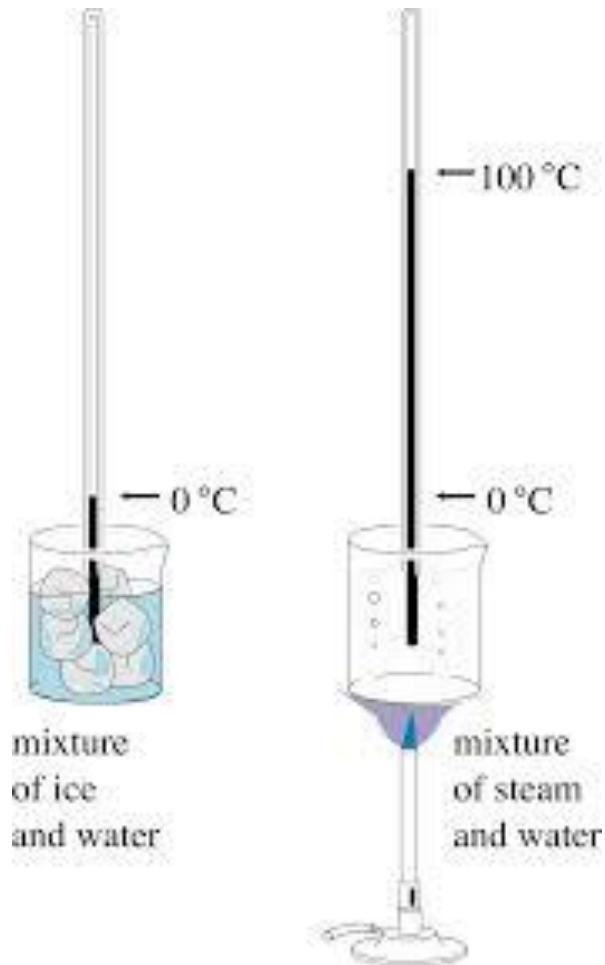


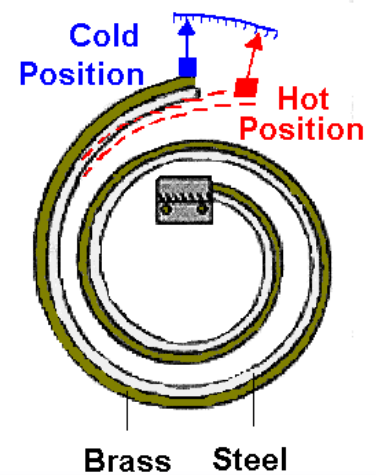
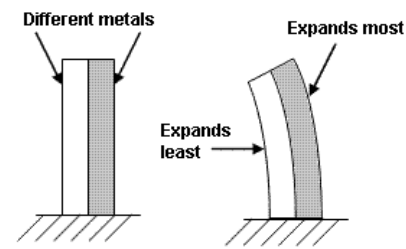
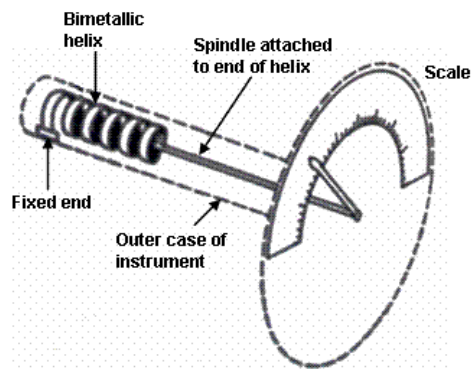
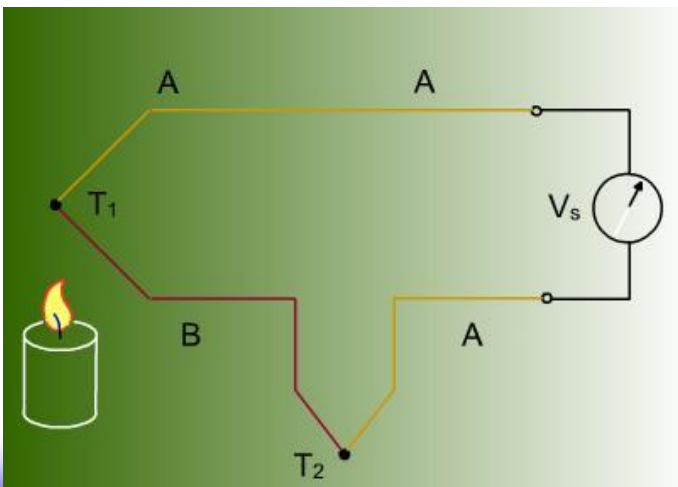
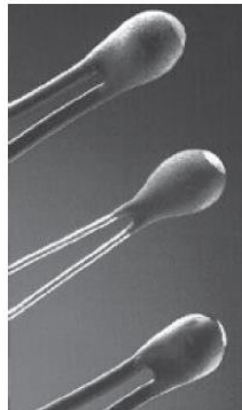
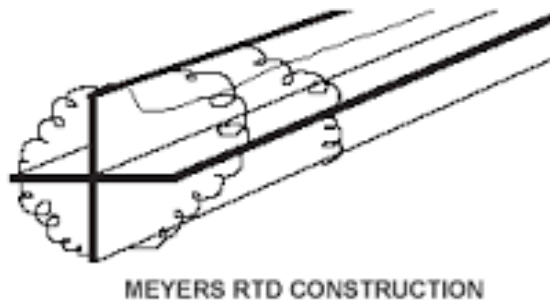
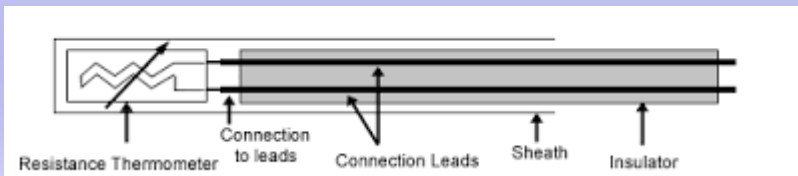
$$T_A = T_B$$

A Lei Zero da Termodinâmica determina que, quando dois corpos têm igualdade de temperatura com um terceiro corpo, eles têm igualdade de temperatura entre si. Esta lei é a base para a medição de temperatura.

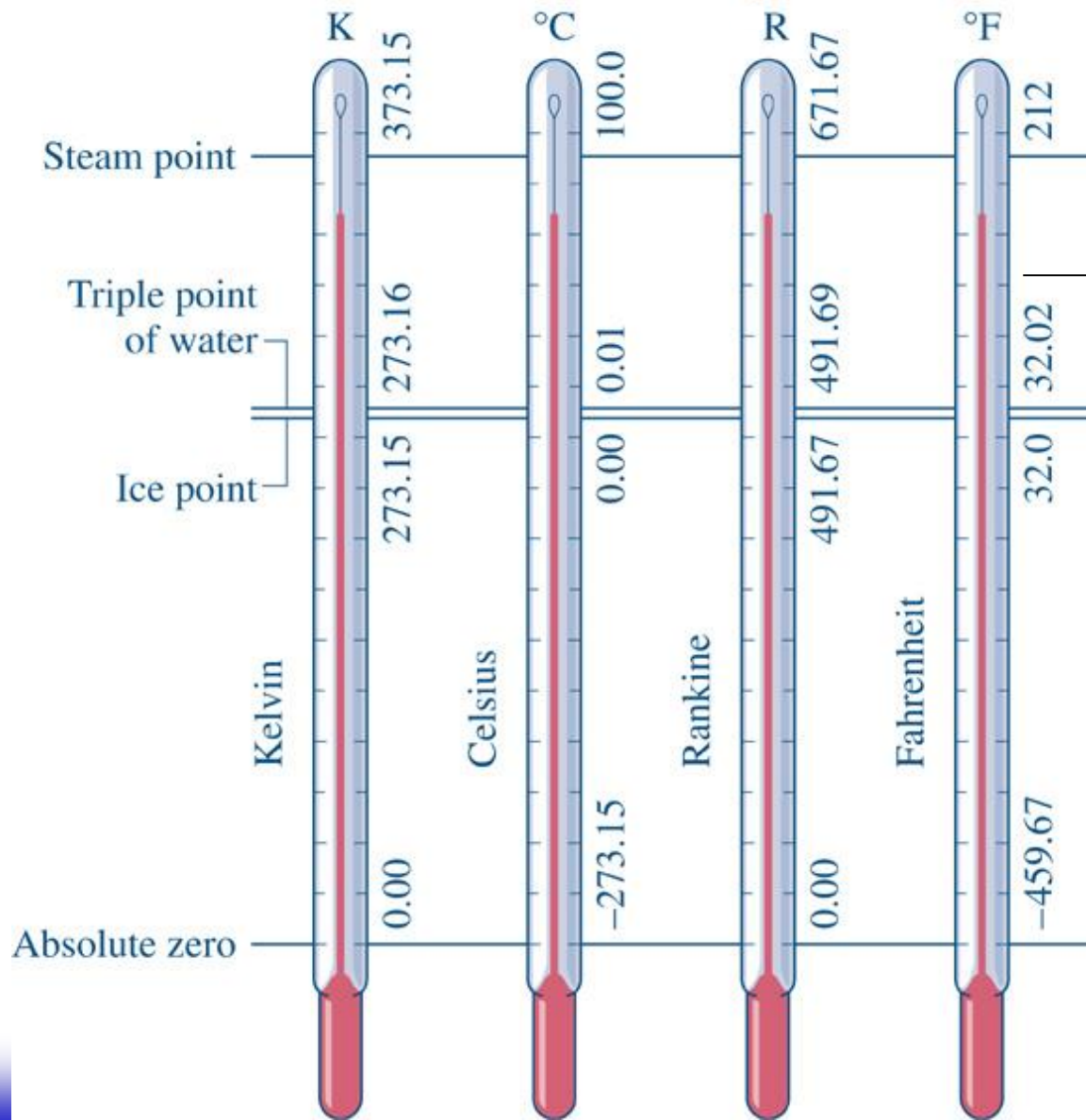


# Termômetros





# Escalas termométricas



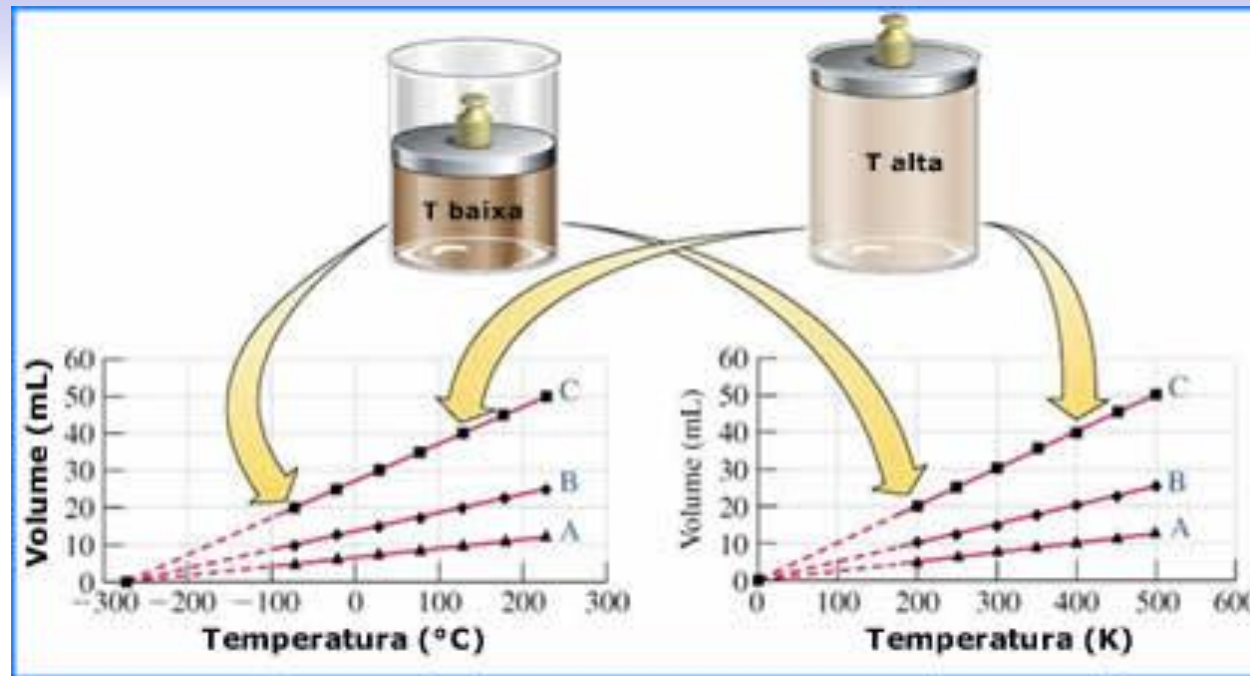
$$100^{\circ}\text{F}=37,78^{\circ}\text{C}$$

$$T(^{\circ}\text{C})=T(\text{K})-273,15$$

$$T(^{\circ}\text{F})=T(\text{R})-459,67$$

$$T(^{\circ}\text{F})=1,8(^{\circ}\text{C})+32$$

# Temperatura Absoluta



www.qmc.ufsc.br

curvas isobáricas de Charles (Jacques Charles, 1746- 1823)

**Joseph-Louis Gay-Lussac**

“um gás teria um volume nulo (zero) se a temperatura for de  $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Como qualquer volume menor do que isso é impensável, então pode-se concluir que **esta temperatura é a menor possível de ser atingida. Esta temperatura é chamada de zero absoluto**. A escala absoluta da temperatura foi desenvolvida (mais tarde) por Lord Kelvin e é conhecida, hoje, como **Escala Kelvin**. Nesta escala,  $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$  corresponde a 0 K. A temperatura de fusão do gelo, então, é de  $+273,15\text{ K}$ , e a de ebulição da água é de  $+373,15\text{ K}$ . A conversão entre as escalas pode ser feita conforme a expressão abaixo:

$$T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273,15$$



# *Metodologia para solução de problemas*

