

**PEA 3100**

# **Energia, Meio Ambiente e Sustentabilidade**

## **Aula 13 - Usinas termelétricas**



# Geração termelétrica

## Processo fundamental de funcionamento:

Baseado na conversão energia térmica em energia mecânica, e desta em energia elétrica

**A conversão da energia térmica em mecânica** : dá-se através do uso de um fluido que produzirá trabalho em seu processo de expansão em turbinas térmicas

**A conversão da energia mecânica em elétrica**: Dá-se através do acionamento mecânico de um gerador elétrico acoplado ao eixo da turbina.

# A produção da energia térmica se dá através da :

- Transformação da energia química dos combustíveis através do processo de combustão
- Ou da energia nuclear dos combustíveis radioativos através da fissão nuclear
- Diretamente através do aproveitamento do gradiente térmico de diferentes fluidos.Ex: energia oceânica; geotérmica.

# Geração Termelétrica - Combustíveis utilizados

## Renovável e Não-renovável

### Não renovável

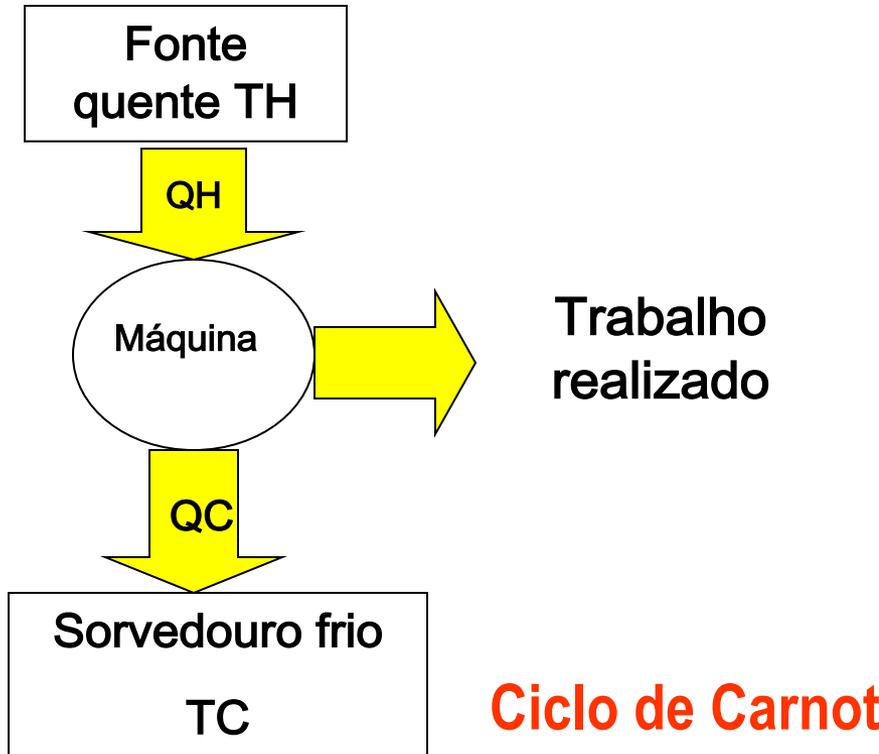
- Diesel
- Óleo - combustível
- RASF
- Carvão mineral
- Gás natural
- Urânio
- Geotérmica

### Renovável

- Biomassa Florestal
- Óleos vegetais
- Bagaço de cana
- Palha de arroz
- Lixo

# Princípio da Conversão de Energia

**Máquina Térmica** – inclui todos os tipos de máquinas em que o calor é transformado em trabalho.



## 1ª Lei da Termodinâmica

Lei da conservação de energia diz que:

$$\text{Trabalho realizado} = QH - QC$$

Portanto:

Eficiência =

$$(QH - QC) / QH$$

(Em Kelvin)

Para uma máquina ideal - Eficiência máxima =  $(TH - TC) / TH$

# Ciclo termodinâmico

A definição de máquina térmica pode ser utilizada na definição de **ciclo termodinâmico**, o qual entendemos como uma série de processos termodinâmicos durante os quais o fluido de trabalho sofre mudanças envolvendo apenas troca de calor e trabalho e então retorna ao seu estado original.

O propósito de um ciclo termodinâmico convencional em engenharia é converter calor em trabalho.

No ciclo de **ar condicionado e refrigeração**, o trabalho é utilizado para retirar calor de uma área na qual ele é indesejável.

# Rendimento térmico de um ciclo

É definido como a razão entre o trabalho útil do ciclo e o calor fornecido ao ciclo:

$$\eta = \frac{W}{Q_{in}} \times 100\%$$

O termo calor é calor adicionado e não o calor líquido do ciclo

Nos ciclos de produção de energia (ciclos de potência), o calor é usualmente fornecido por uma fonte à alta temperatura.

Usando a notação  $Q_{in}$  para o calor fornecido ao ciclo e  $Q_r$  para o calor rejeitado pelo ciclo, e aplicando a **primeira lei da termodinâmica** ao ciclo obteremos:  $W = Q_{in} - Q_r$ . Portanto:

$$\eta = \frac{Q_{in} - Q_r}{Q_{in}} \times 100\% = \left( 1 - \frac{Q_r}{Q_{in}} \right) \times 100\%$$

# Central Termoeletrica

Usina de Piratininga – Bairro de Pedreiras São Paulo



**Importância de se obter um alto rendimento:**

**Um exame da equação nos mostra que , minimizando o calor rejeitado, obtem-se a maximização da conversão de calor em trabalho no ciclo .**

$$\eta = \frac{Q_{in} - Q_r}{Q_{in}} \times 100\% = \left( 1 - \frac{Q_r}{Q_{in}} \right) \times 100\%$$

**Qual a melhor forma de operar um ciclo de modo a minimizar o calor rejeitado e obter o máximo rendimento térmico?**

# Tipos de Máquinas Térmicas

Caracterizam-se pelo tipo de ciclo termodinâmico a que o fluido de trabalho é submetido.Ex.:

**Ciclo a Vapor ou Rankine: fluido de trabalho sofre mudança de estado.**

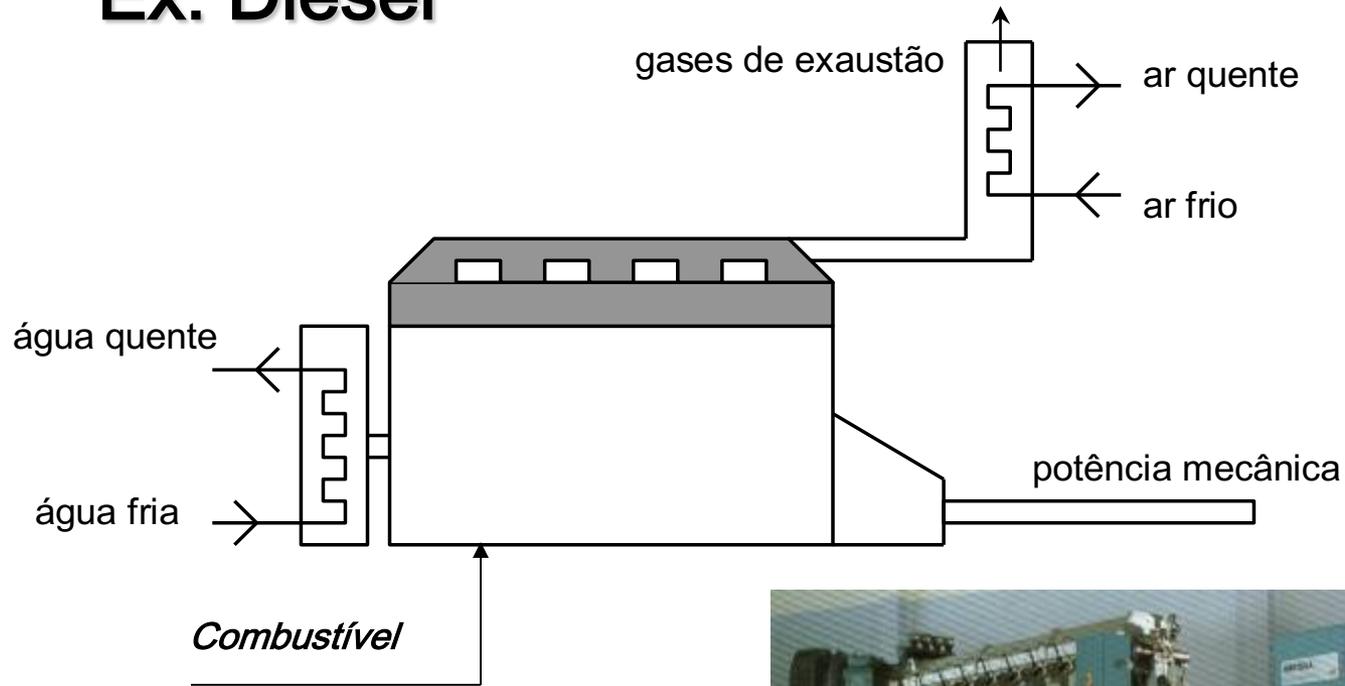
**Ciclo a Gás ou de Brayton: o fluido de trabalho se mantém no estado gasoso (gás quente).**

## Classificação:

- **Centrais a combustão** – Termelétricas (convencionais):
  - ◆ Combustão externa: o combustível não entra em contato com o fluido de trabalho.
  - ◆ Combustão interna: a combustão se efetua sobre uma mistura de ar e combustível.
- **Centrais nucleares** – Processo de fissão do núcleo atômico do combustível nuclear.

# Motores de combustão interna

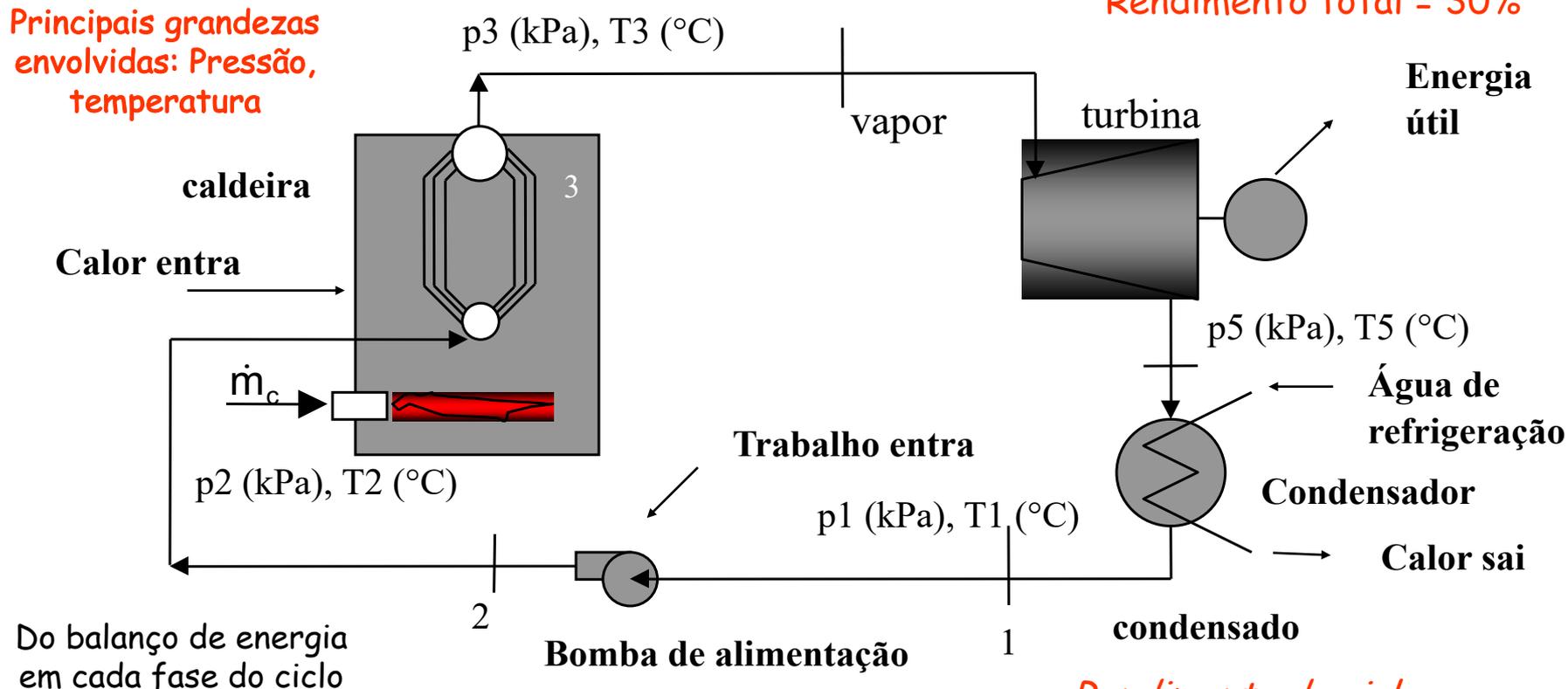
## Ex: Diesel



# Ciclo a vapor – Termelétrica a vapor

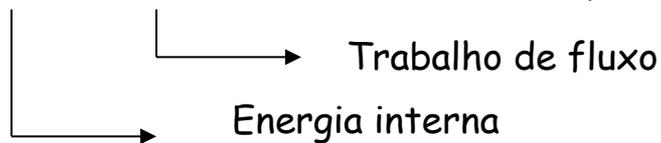
Principais grandezas envolvidas: Pressão, temperatura

Rendimento total = 30%



Do balanço de energia em cada fase do ciclo

$$u + pv = h \longrightarrow \text{Entalpia (kJ/kg)}$$

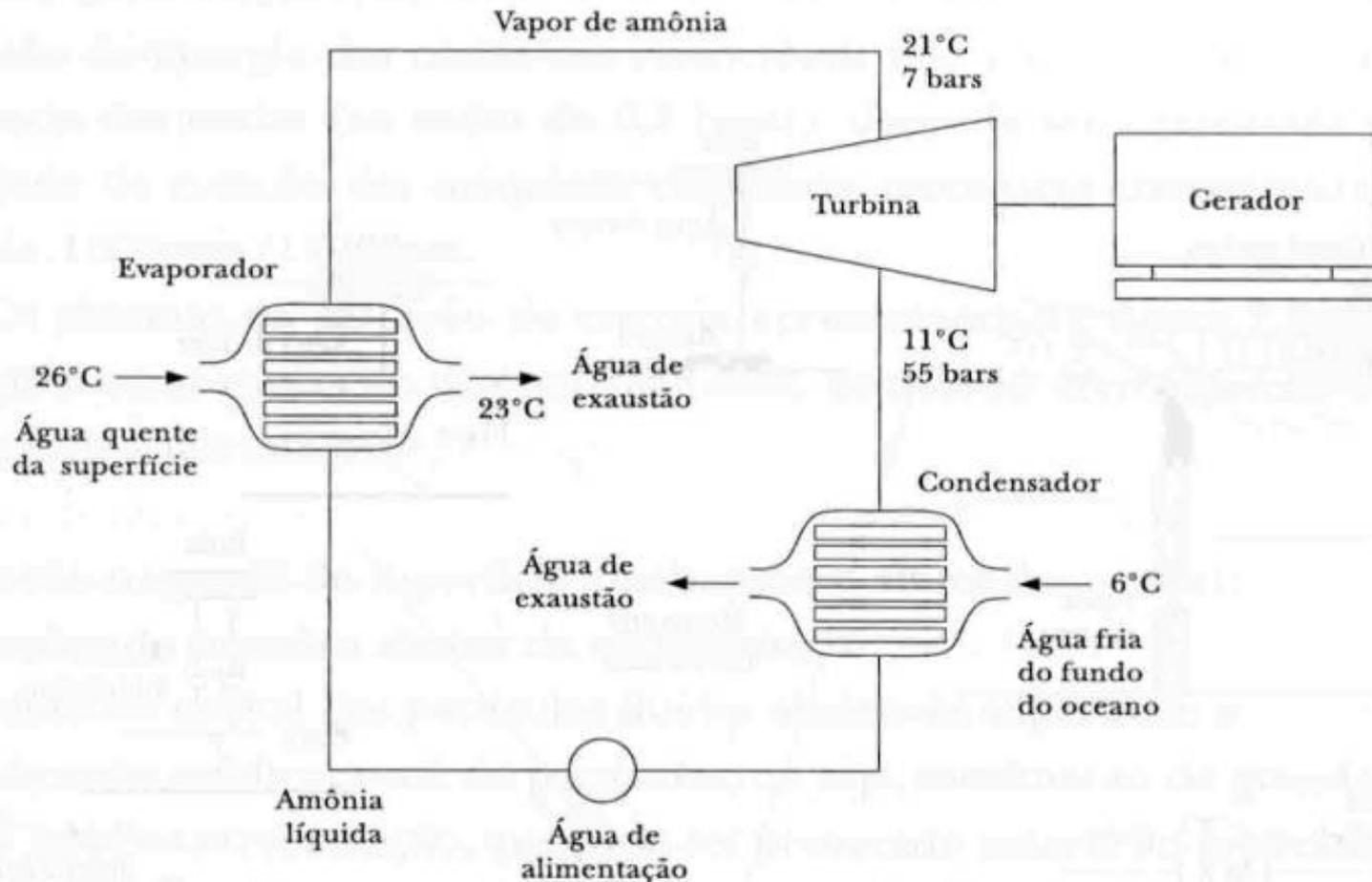


$$\eta_r = \frac{\text{Trabalho produzido (3)} - \text{Trabalho na bomba}}{\text{Calor fornecido á caldeira}}$$

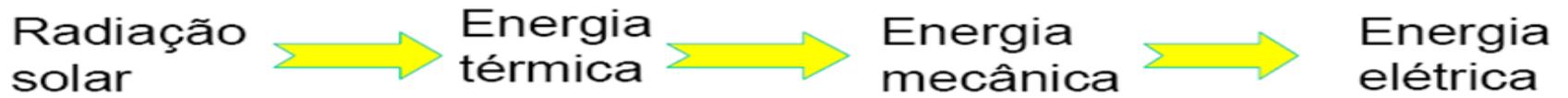
$$= \frac{(h_4 - h_5) - (h_2 - h_1)_s}{h_4 - h_2} \quad P_e = P_u \times \eta_G$$

# Energia dos oceanos

## Aproveitamento do gradiente térmico



## Conversão termomecânica



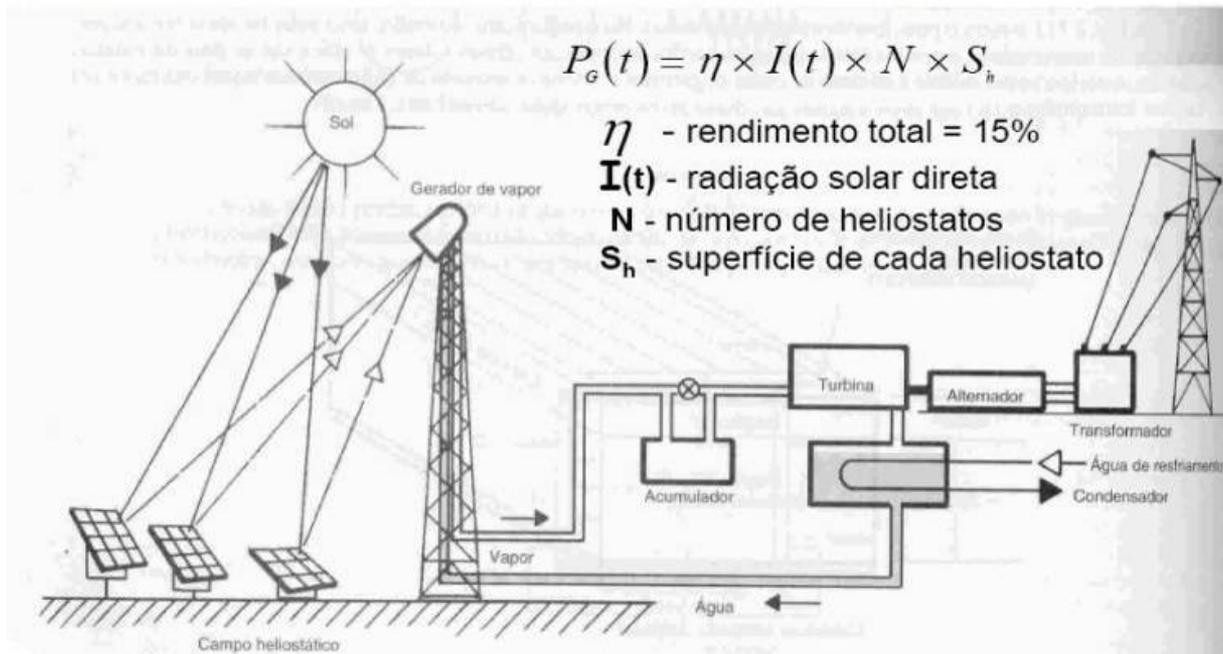
## SISTEMAS HELIOTERMOELÉTRICOS



# Conversão indireta da radiação solar em eletricidade

## SISTEMAS TERMOSOLARES

### Sistema de Receptor Central - Torres de Potência - Princípio de Funcionamento





# Conversão indireta da radiação solar em eletricidade

## SISTEMAS TERMOSOLARES

### UTES Termossolares → Ciclo Rankine

UTE BARSTOW	
Heliostatos	1818
Área - heliostato	39,9 m <sup>2</sup>
Área total	291.000 m <sup>2</sup>
Potência	42 MW
Altura da torre	77,1 m
Receptor	24 painéis de 13,7 m de altura, cada painel tem 12,7 mm de diâmetro
Diâmetro do Receptor	7 m



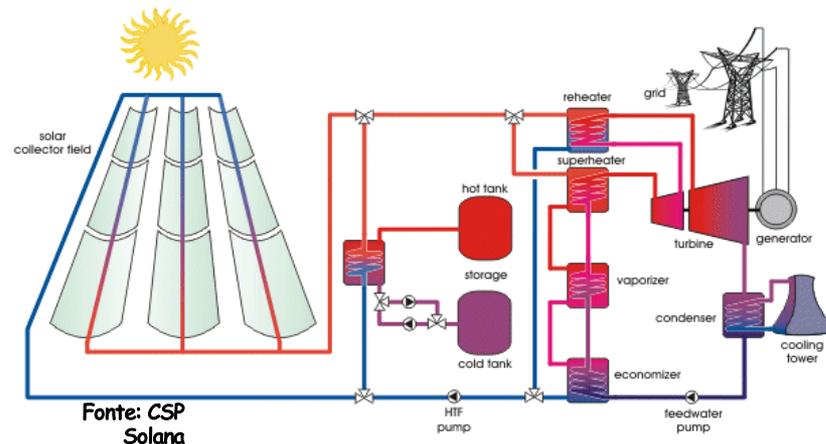


## Conversão indireta da radiação solar em eletricidade

### SISTEMAS TERMOSOLARES

#### UTÊs Termossolares Parabólicas → Ciclo Rankine

- Nestas centrais não existe uma torre solar concentrada, mas, espelhos parabólicos (CSP) com dutos de sal líquido que recebem o calor solar e, através de conexões série-paralelo, levam o sal líquido para o Ciclo de Rankine.





## Conversão indireta da radiação solar em eletricidade

### SISTEMAS TERMOSOLARES

#### UTE Termossolar Parabólica – CSP Solana – Arizona/EUA

UTE CSP Solana	
Concentradores parabólicos	50.400
Área - concentrador	99,75 m <sup>2</sup>
Área total da planta	7,72 km <sup>2</sup>
Potência	280 MW
Energia	1,2 TWh
Fator de capacidade (com armazenamento de energia)	0,49



Fonte: CSP Solana

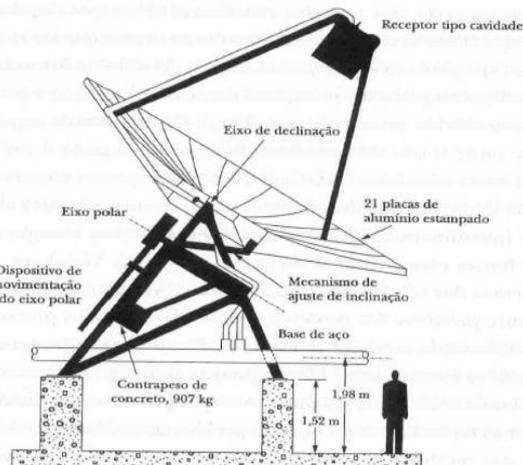


## Sistema Distribuído

No sistema distribuído, a energia solar é convertida em energia térmica no próprio coletor solar.

### Instalado na USP – São Paulo

CSP Trinum (Innova) – Cogeração Heliotérmica



. Campo solar Eurodish. Disponível em: (<http://www.dlr.de>)

# ENERGIA NUCLEAR - Princípio básico

---

A energia nuclear é a energia armazenada no núcleo dos átomos, mantendo prótons e nêutrons juntos.

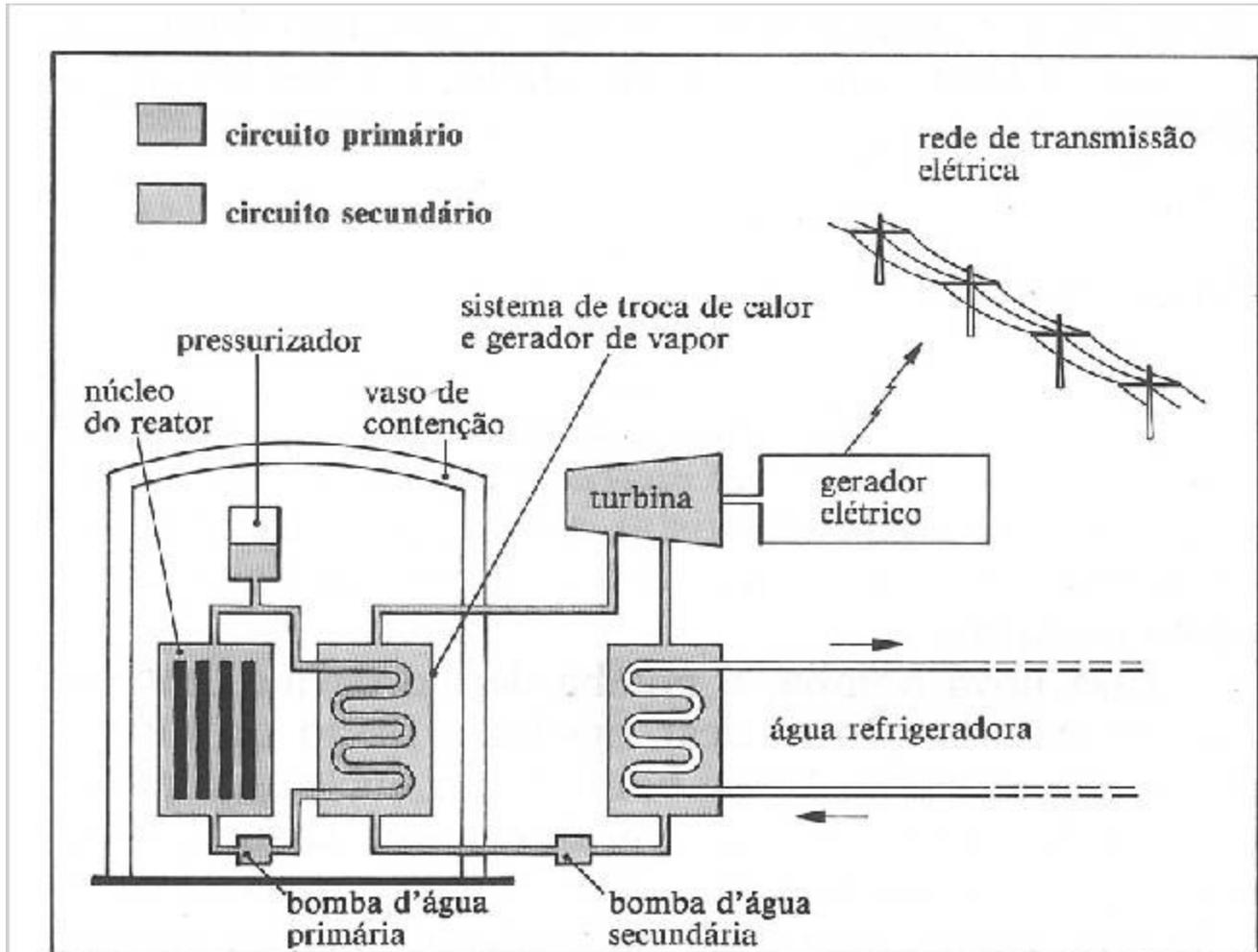
Esta energia é fóssil no sentido de que os elementos foram formados há cerca de 8 bilhões de anos.

O minério de urânio é toda concentração natural de minerais na qual o urânio ocorre em proporções e condições que permitam sua exploração econômica.

O elemento químico urânio é um metal branco-níquel, pouco menos duro que o aço e encontra-se em estado natural nas rochas da crosta terrestre. Sua principal aplicação é na geração de energia elétrica e na produção de material radioativo para uso na medicina e na agricultura.

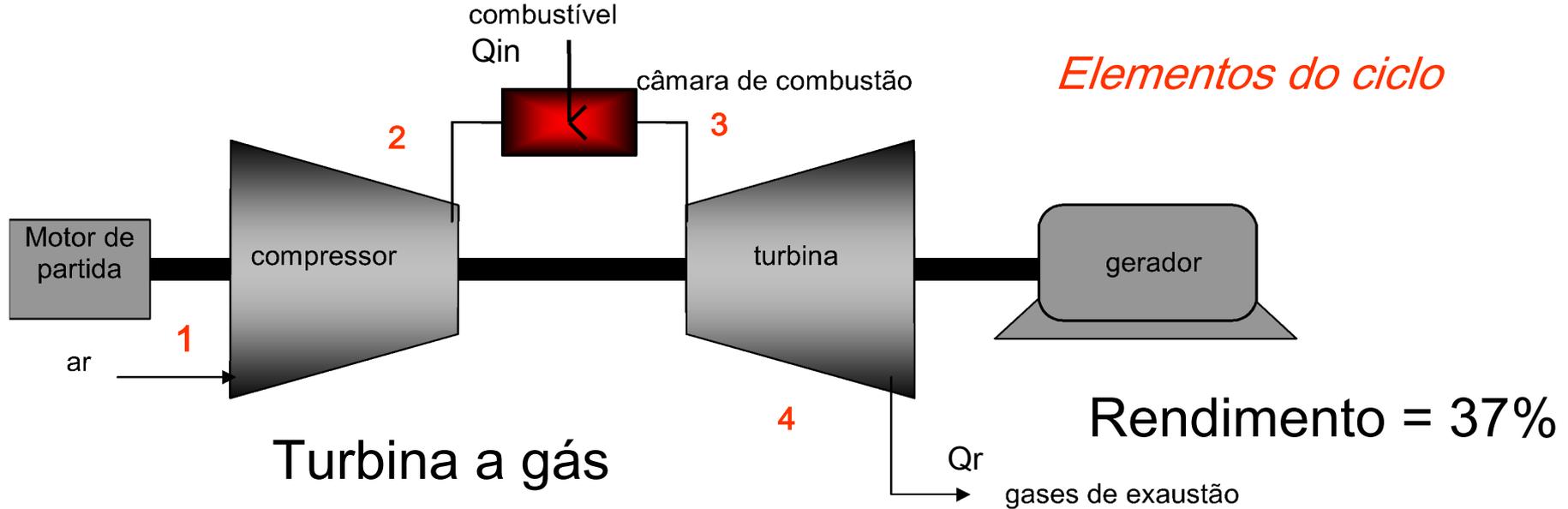
Nos reatores nucleares, o que é aproveitado não é a radioatividade do urânio mas sim a sua propriedade de fissionar-se (quebrar-se ou partir-se) e de liberar grande quantidade de energia quando atingido por um “nêutron.

# Centrais Nucleares – Geração de Eletricidade



Esquema de construção de um reator nuclear do tipo Angra I

# Central a gás – Ciclo de Brayton ( a gás)



Trabalho líquido  $\rightarrow q_{in} - q_r = c_p (T_3 - T_2) - c_p (T_4 - T_1)$

Então:

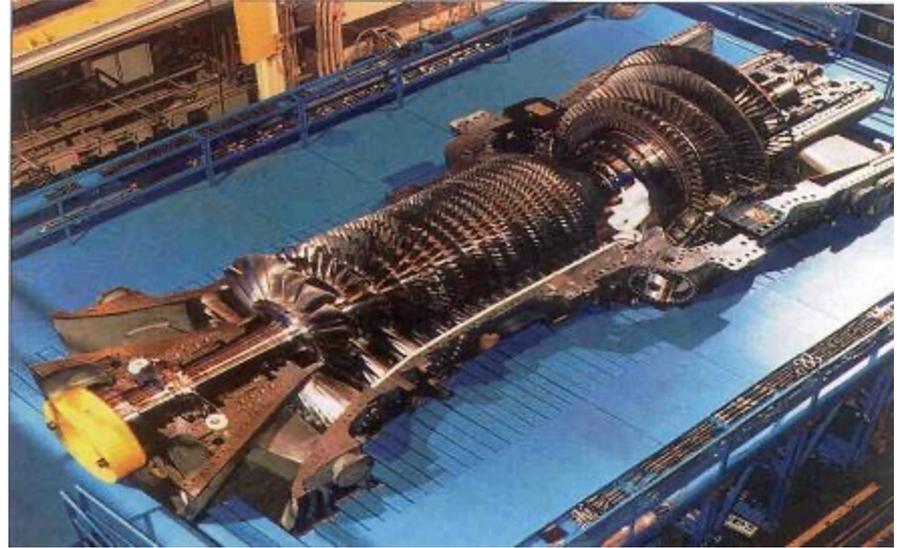
$$\eta_{Brayton} = \frac{c_p (T_3 - T_2) - c_p (T_4 - T_1)}{c_p (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

Calor fornecido ao ciclo

Onde:  $T$  = temperatura e  $C_p$  = calor específico

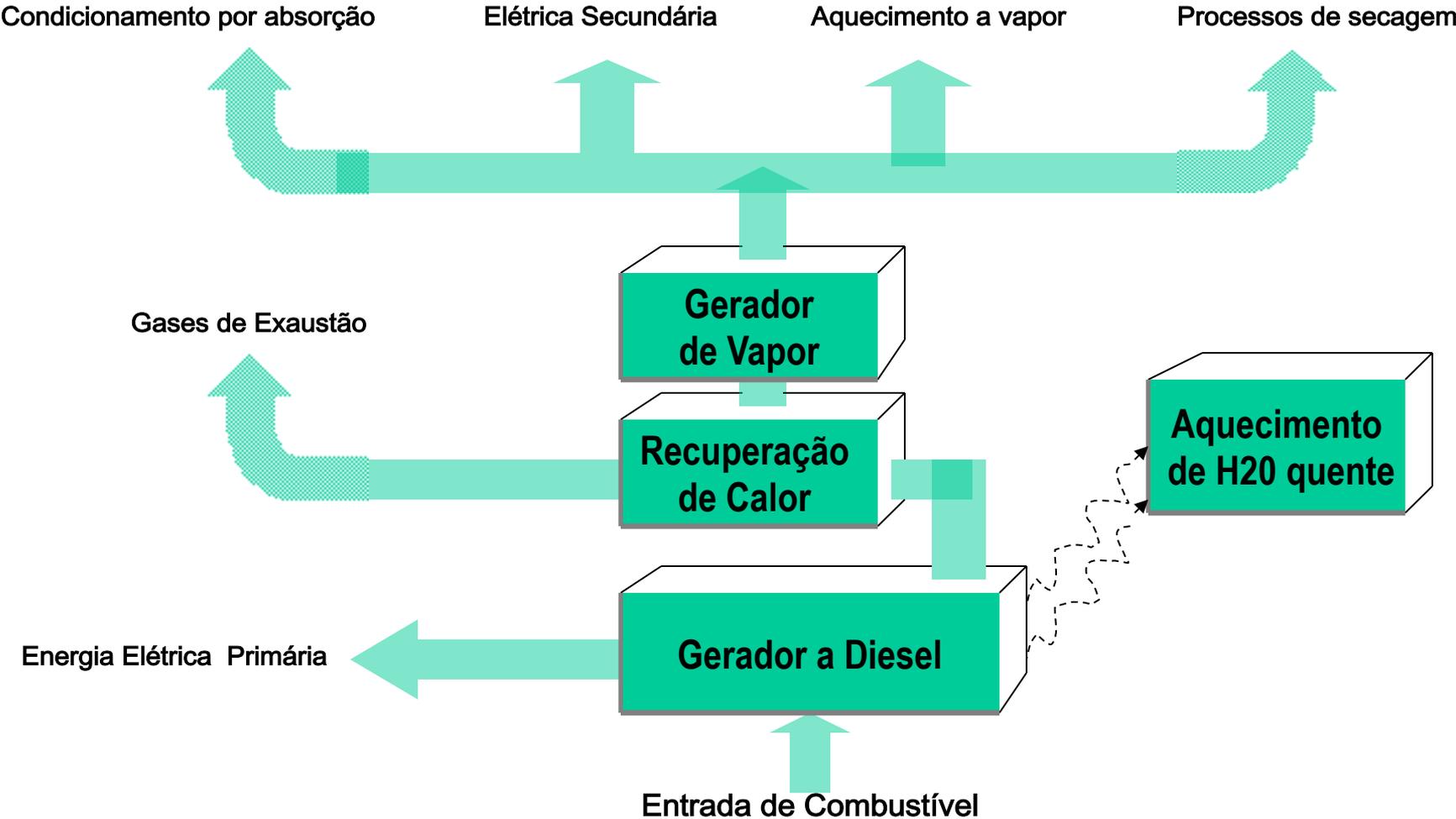
# Turbina a gás

Turbina a gás  
Alta potência →



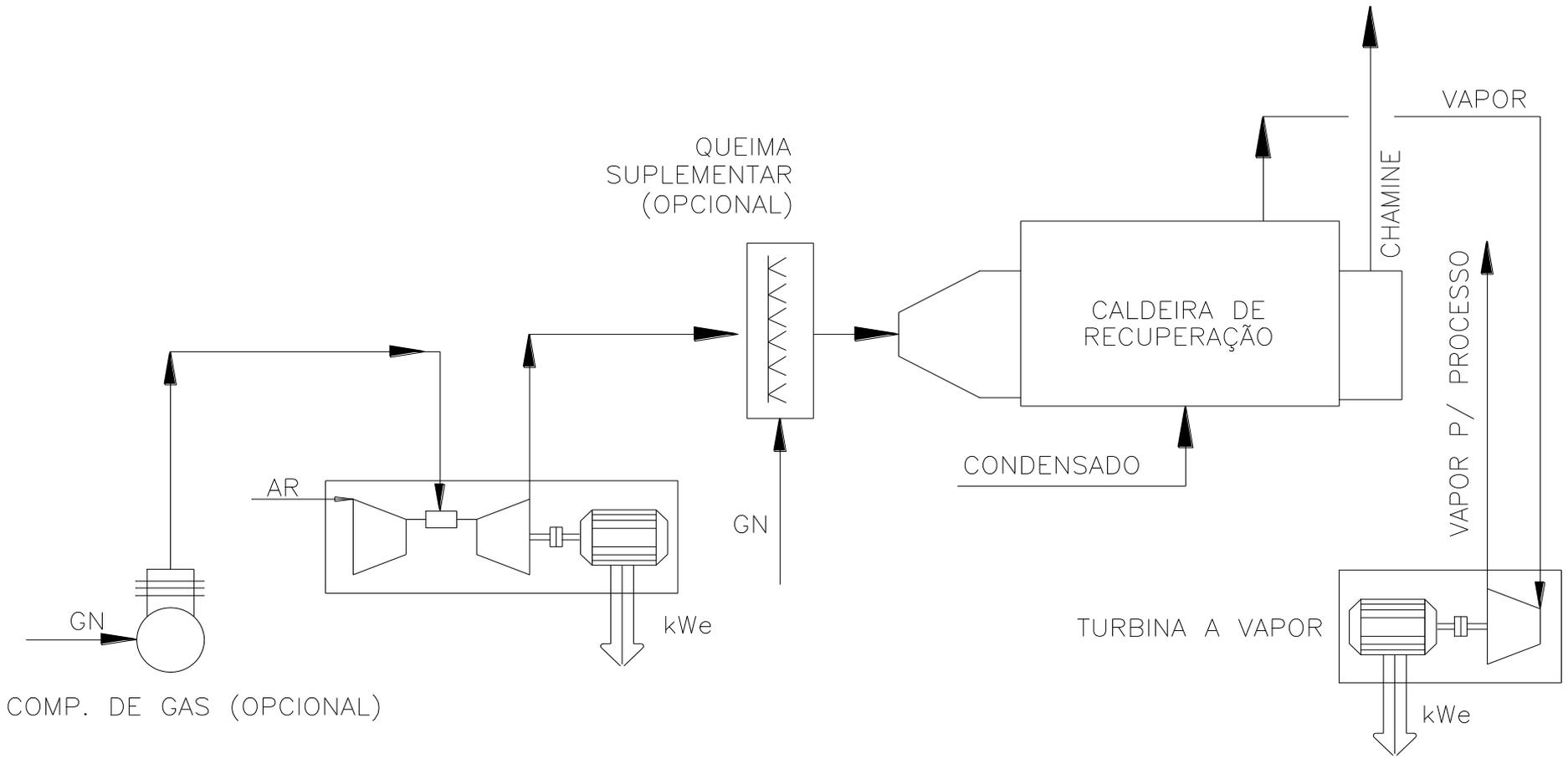
← *Microturbina a Gás*

# Cogeração: Produção e uso simultâneo de várias formas de energia a partir de uma única fonte de combustível.



Fonte: Reproduzido de HINRICHS & KLEINBACH, 2003.

# Ciclo combinado



Rendimento = 55%

# Centrais a CICLO COMBINADO

Combinam ciclo a vapor ( Central a vapor) com ciclo a Gás ( central a gás).

*Vantagem: aumenta o rendimento do ciclo*

Num ciclo simples de turbina a gás, os gases de exaustão após percorrerem a extensão da mesma, são enviados à atmosfera a uma temperatura elevada (aproximadamente 500°C).

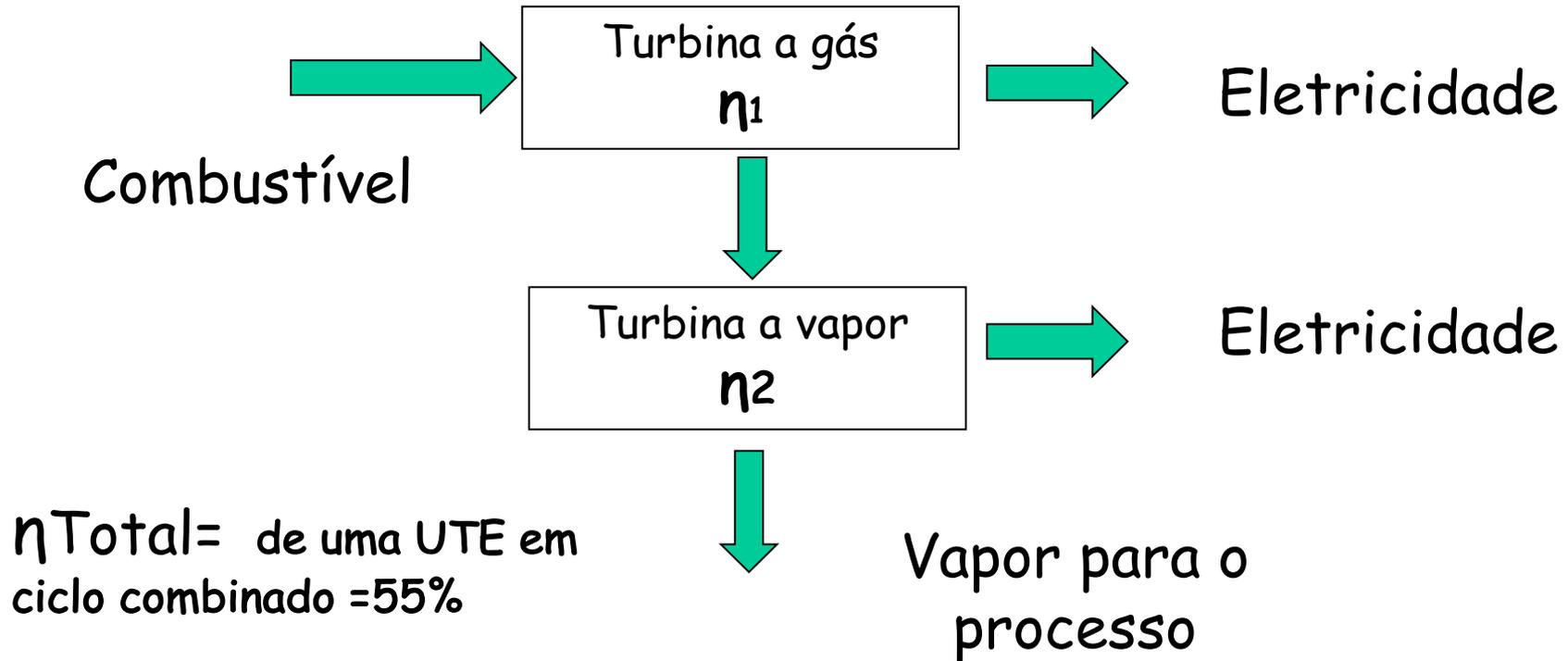
O calor contido nos gases pode ser aproveitado para ser utilizado numa caldeira de recuperação térmica que irá transferir o calor dos gases para um circuito água-vapor.

O vapor gerado na caldeira de recuperação a uma alta pressão é enviado à uma turbina a vapor onde é expandido gerando mais eletricidade.

# AVANÇOS TECNOLÓGICOS NA PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE

Os impactos ambientais e custos resultantes da produção de energia elétrica podem ser reduzidos melhorando a eficiência das tecnologias de geração de energia

**Ex: Centrais termelétricas - Geradores com ciclo combinado**



# Usina Termoeletricas no Brasil

Tipo	Combustível	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	% Potência Outorgada
Agroindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar	419	12.238.814,20	71,86%
Agroindustriais	Biogás-AGR	4	31.867,00	0,19%
Agroindustriais	Capim Elefante	2	31.700,00	0,19%
Agroindustriais	Casca de Arroz	13	53.333,00	0,31%
Biocombustíveis Líquidos	Etanol	1	320,00	0,00%
Biocombustíveis Líquidos	Óleos vegetais	5	17.180,40	0,10%
Floresta	Biogás - Floresta	1	5.000,00	0,03%
Floresta	Carvão Vegetal	7	38.197,00	0,22%
Floresta	Gás de Alto Forno - Biomassa	12	127.705,05	0,75%
Floresta	Lenha	10	229.450,00	1,35%
Floresta	Licor Negro	21	3.299.414,00	19,37%
Floresta	Resíduos Florestais	73	717.690,00	4,21%
Resíduos animais	Biogás - RA	17	6.023,20	0,04%
Resíduos sólidos urbanos	Biogás - RU	26	201.887,60	1,19%
Resíduos sólidos urbanos	Carvão - RU	3	8.250,00	0,05%
Resíduos sólidos urbanos	Resíduos Sólidos Urbanos - RU	8	24.413,00	0,14%

Em 2022, havia 2.513 empreendimentos que exploravam fontes energéticas de origem fóssil, com potência instalada de 30.971.086 KW, correspondente a 16,26% do total da matriz elétrica brasileira.

Sistema SIGA ANEEL -

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiaWJjc4OGYyYjQ0YWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOjR9>