

PEA 3100 - Energia, Meio Ambiente e Sustentabilidade

Aula 8 - Fontes Convencionais Geração Hidráulica

- Conceitos básicos
- A usina hidrelétrica
- Tipologia
- Energia hidráulica no Brasil

Geração hidrelétrica



UHE de Itaipú - 14 GW - Brasil/Paraguai

Fonte: EPE

Conceitos básicos da hidrologia: **Ciclo hidrológico**



Fonte: USGS

Conceitos básicos de Hidrologia: **Bacia hidrográfica**

Área da superfície do solo capaz de coletar a água das precipitações meteorológicas e conduzi-las ao curso d'água.



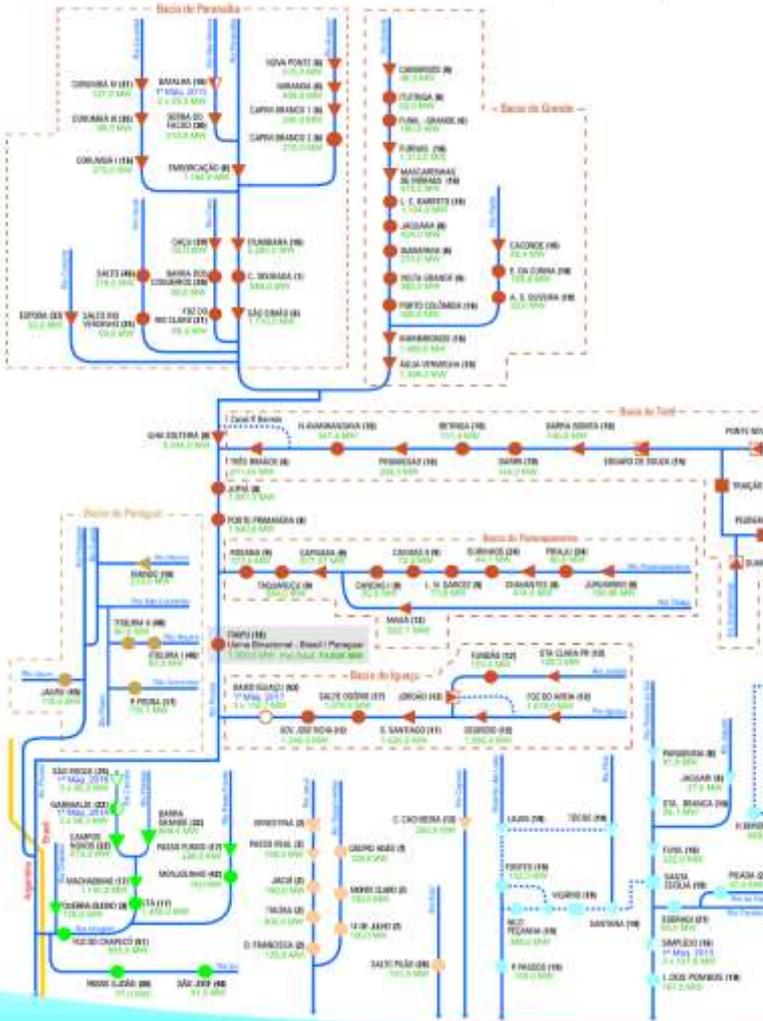
Usinas Hidrelétricas no Brasil



Diagrama Esquemático das Usinas Hidroelétricas do SIN

Usinas Hidroelétricas Despachadas pelo DNS na Otimização da Operação Eletroenergética do Sistema Interligado Nacional

Horizonte: 2013 - 2017



Agentes

CDSEA - 1	GERALDO - 30	Aguaípe - 39
CESE - 2	Foz do Rio Claro - 21	Aracaju - 46
CEC - 3	ITM - 23	J. Malvestri - 81
CELPA - 4	Raposo - 23	Marabá - 62
CEEC - 5	COB - 24	Reitor Balsem - 43
CEBRG - 6	Diamantina - 25	Itaipu - 44
CERRAN - 7	CEBAP - 36	Guatuzubá - 45
CEOP - 8	Vol. Energia - 27	Vol. Verde - 44
ELUNE - 9	Wassourá - 29	Vol. Vitorino - 47
AGS, TAMB - 10	Paulo Estrela - 38	Tocantins - 48
CHESP - 11	DEASP - 38	Vitorino - 48
COPT - 12	Corumbá IV - 21	Algodão - 50
Electron - 13	SDFE - 22	Foz do Chapeão - 51
EMAE - 14	CVRD - 32	Vol. Esperança - 52
Enargem - 15	Estreito - 44	Santo Antônio - 53
Furnas - 16	Corumbá II - 25	Energia Sustentável - 54
Tratador - 17	Agua de Peixes - 26	Eletrópolis - 56
Bacia Itaipava - 18	CELDOIT - 37	Amazônia Energia - 56
Logis - 19	Imbituba - 35	Amepá - 57

Potência Instalada

31/Dez	Normalizada(*) (MW)	Porcentual do SIN (%)
2012	78.521	72,2
2013	79.937	68,7
2014	84.600	67,4
2015	88.893	67,9
2016	92.123	68,3
2017	96.358	68,4



(*) Valores expressos em porcentagem em função da avaliação do conglomerado de expansão do sistema.



Legenda

- Usina com Reservatório
- Usina com Reservatório
- Usina a Fio d'Água
- Usina a Fio d'Água
- Usina em Construção
- Reservatório
- Usina de Bombamento

Legenda

- Aproveitamentos Existentes
- com reservatório
- sem reservatório
- com reservatório
- sem reservatório
- com reservatório
- sem reservatório

Fontes das Informações

- Agentes de Cessão associados ao ONS
- ANEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
- ANE - Ministério de Minas e Energia
- EP - Empresa de Pesquisa Energética

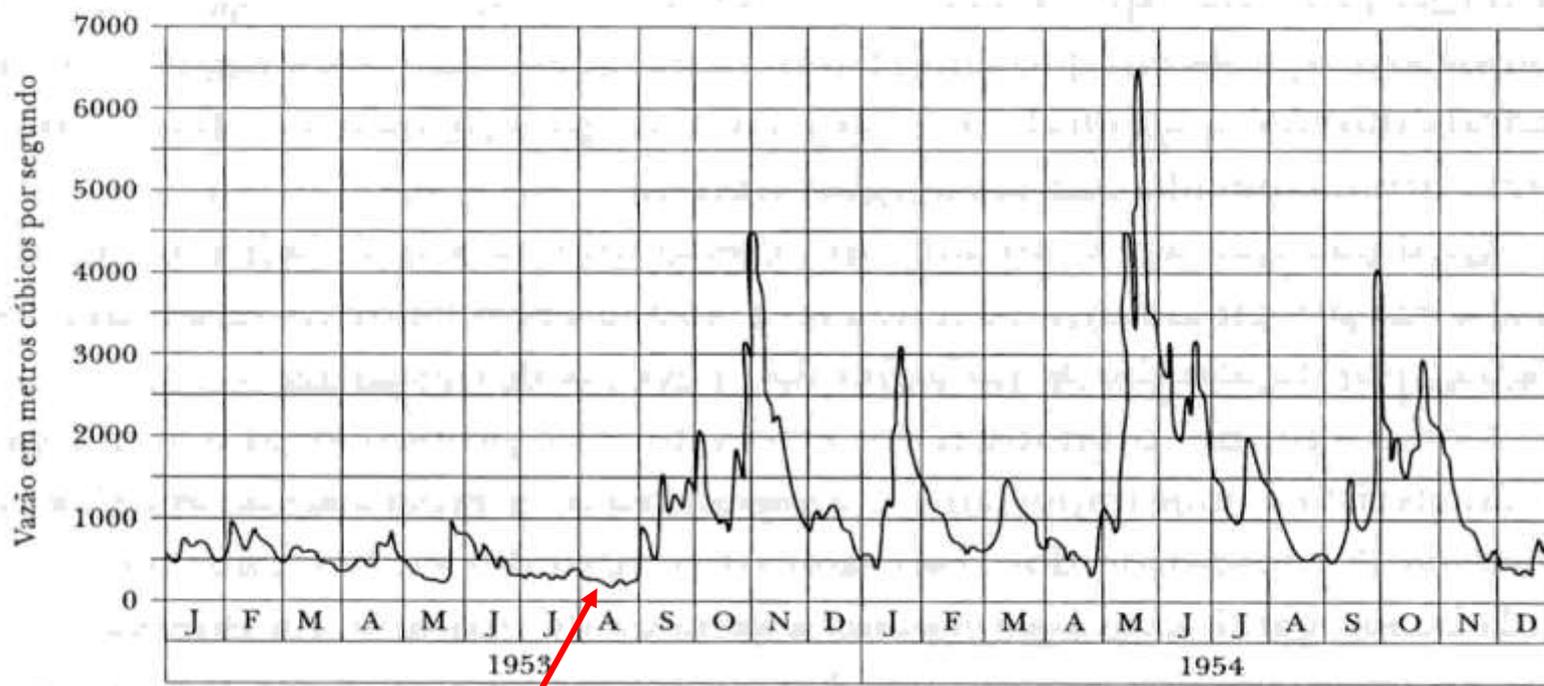
OCEANO ATLÂNTICO

30 de Maio de 2013



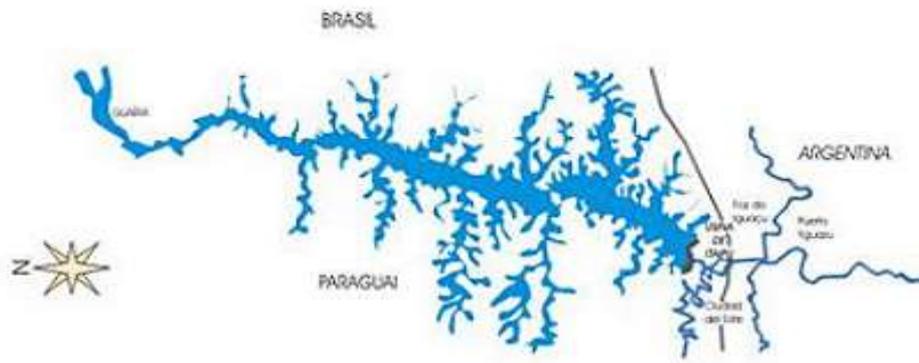
Conceitos básicos de Hidrologia: **Vazão em um curso d'água.**

Exemplo de um **fluviograma** típico:

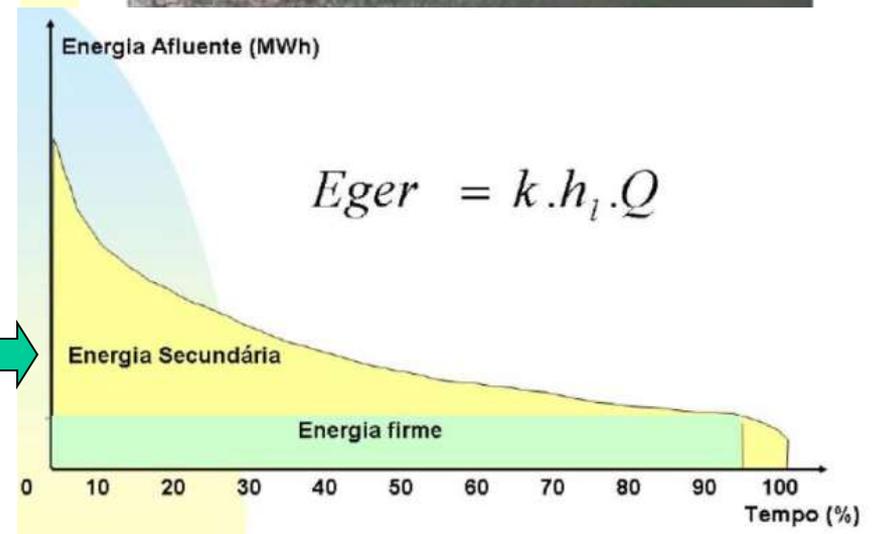
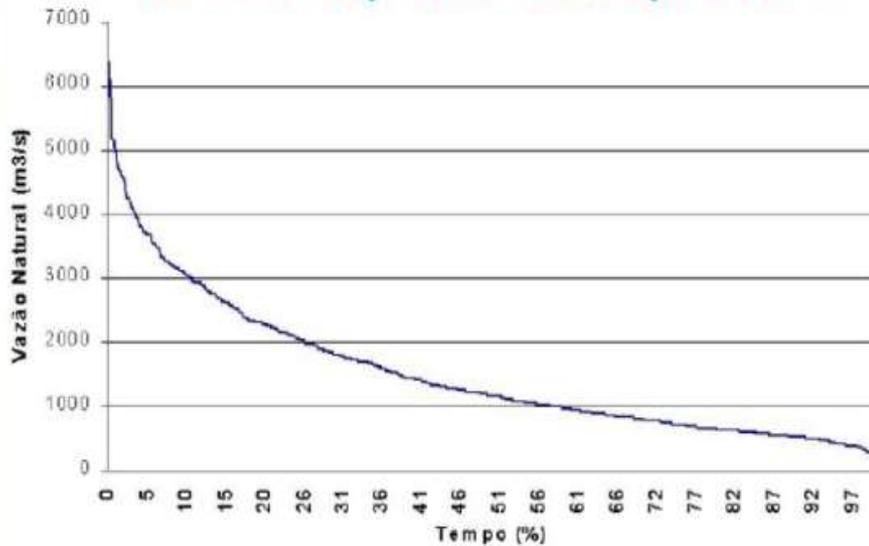


Vazão mínima – presente 95 a 100% do tempo

Conceitos básicos da hidrologia: Regularização de vazões

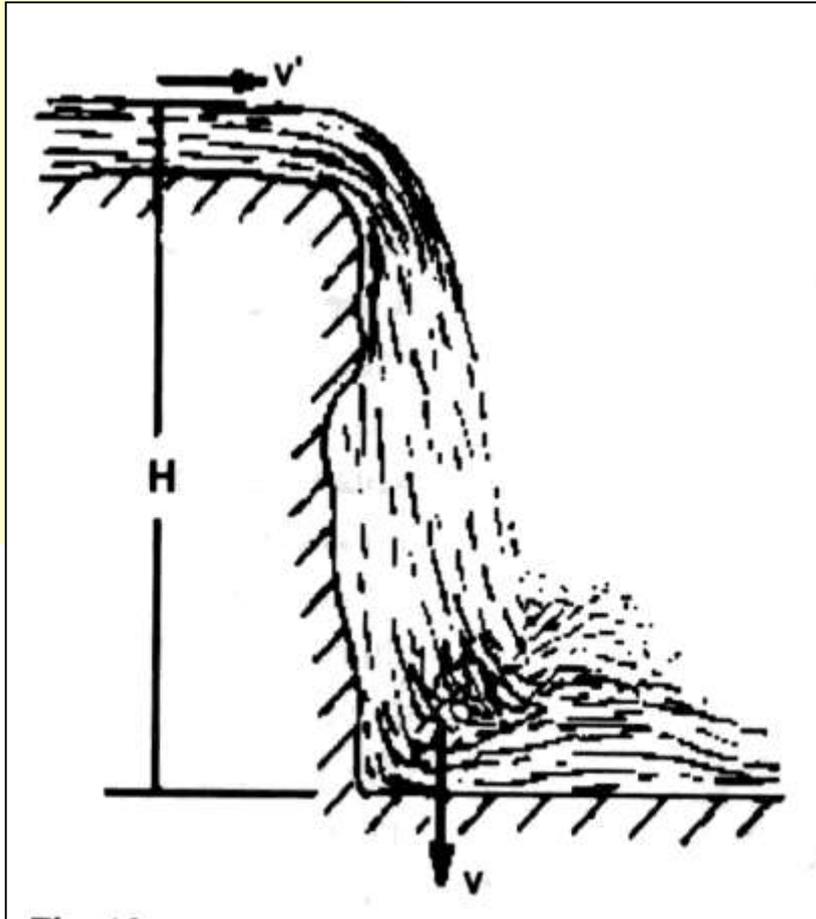


Curva de Permanência das Vazões
Posto Itumbiara - Rio Paranaíba (1931/1992)
Em 95% do tempo a vazão é maior que 436 m³/s



Hidrelétricas

Princípio básico de funcionamento



Energia/tempo = Potência = mgH

m = massa que cai / seg

g = aceleração da gravidade

H = queda bruta

Se a água que cai vem de um rio tem velocidade $\underline{v'}$ constante:

$$P = mgH + 1/2 mv'^2$$

obs: $1/2 mv'^2$ em geral pode ser desprezada pois v' é muita pequena

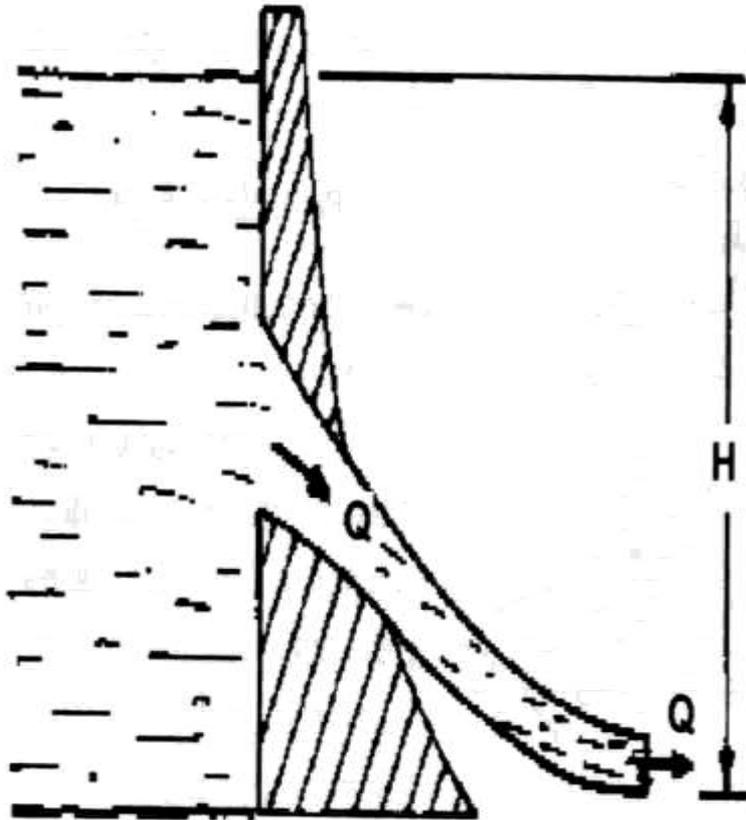
P: Potência

m : "Vazão de massa"

M : massa $\Rightarrow m = dM/dt$

Hidrelétricas

Princípio básico de funcionamento



$$\begin{matrix} m & \longrightarrow & Q \\ \rho = m/Q \end{matrix}$$

Q = volume de água que escoa através do tubo / seg

$$PH = \rho g H Q$$

g = aceleração da gravidade (9,81m/s²)

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

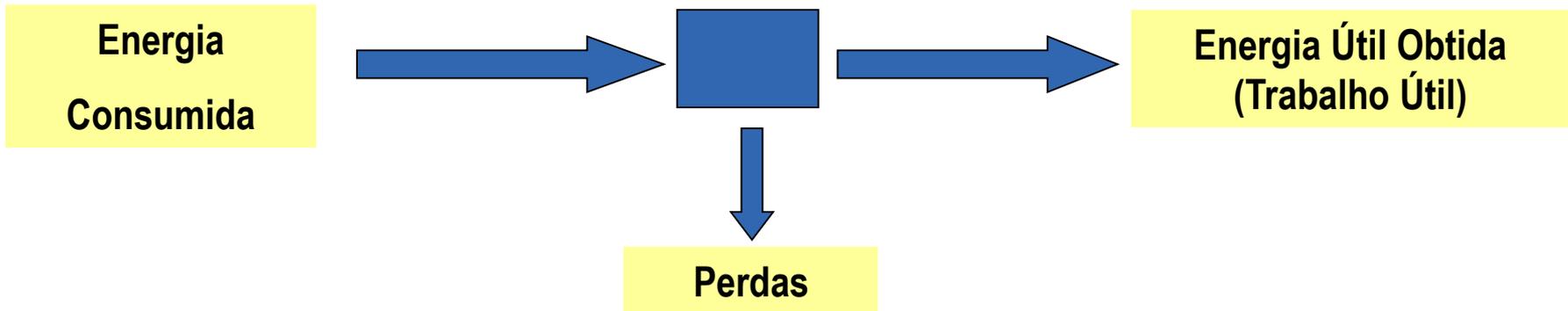
$$\text{Potência hidráulica (PH)} = 9,81 \cdot 1000 \text{ HQ (W)}$$

$$\text{Ou PH} = 9,81 \text{ HQ (kW)}$$

Sendo:

- H em metros
- Q em m³/s
- P em kW

□ **Rendimento ou eficiência:** Indica a eficiência da conversão de energia. É a relação entre a energia útil obtida (trabalho útil) e a energia total consumida.



Se consideramos a energia ou o trabalho por unidade de tempo, temos:

Rendimento ou eficiência = Potência útil / Potência consumida

Rendimento total de uma UHE:

$$\eta_{TOT} = \eta_H \cdot \eta_T \cdot \eta_g$$

com $\eta_H \geq 0,96$

$$\begin{cases} 0,97 \geq \eta_g \geq 0,90 \\ 0,94 \geq \eta_T \geq 0,88 \\ 0,76 \leq \eta_{TOT} \leq 0,87 \end{cases}$$

onde

η_H - Rendimento do sistema hidráulico

η_g - Rendimento do gerador

η_T - Rendimento da turbina

$$Pe \leftarrow 9,81 \times H \times Q \times \eta_{TOT} \text{ (kW)}$$

Potência elétrica

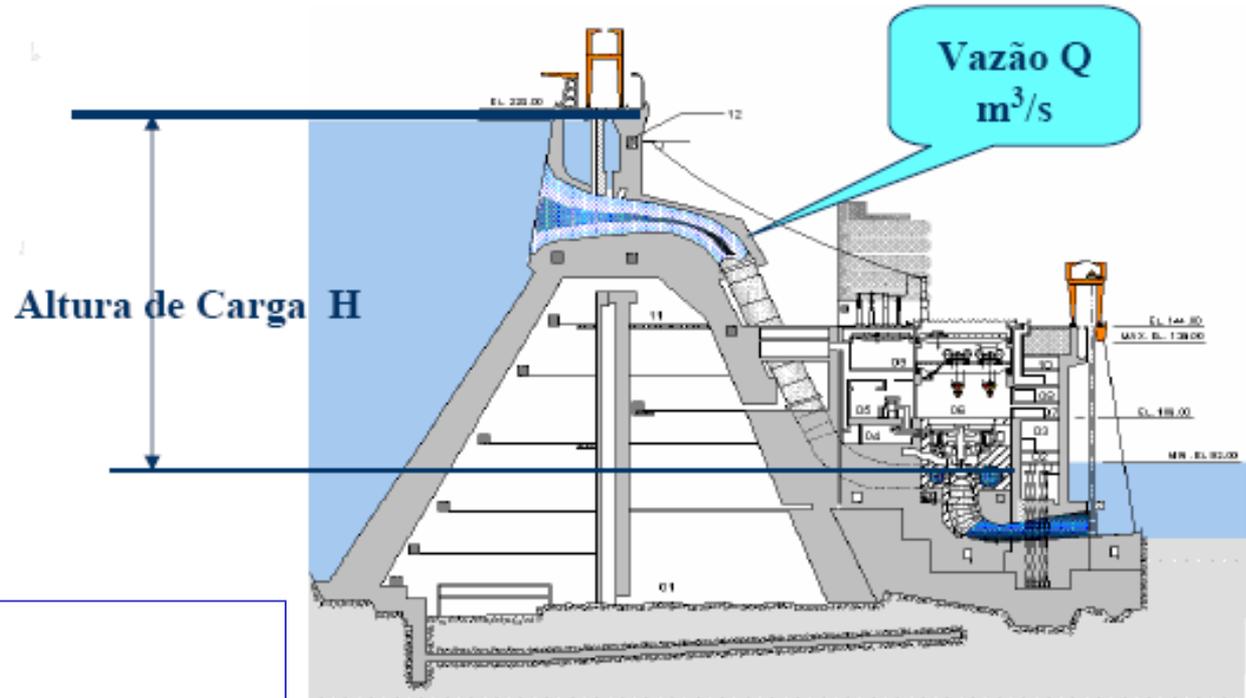
Então, a energia gerada depende:

Da altura de carga H ; da vazão de água Q ; da eficiência dos diversos componentes.

Por exemplo:

- Para uma **vazão constante** de $3\text{m}^3/\text{seg}$;
- altura de 10m ;
- Rendimento hidráulico de 95%
- Rendimento da turbina de 90%
- Rendimento do gerador elétrico de 95%

Energia gerada



Energia diária

$$Ed = 9,81 \times H \times Q \times \eta_H \times \eta_T \times \eta_g \times 24h / dia$$

$$Ed = 5737,23 \text{ kWh/dia}$$

Fator de Capacidade (FC) de uma UHE

Não sendo constante a vazão instantânea:

Potência elétrica instantânea ← P_e (kW)

Energia diária gerada

$$Ed = \int_{i=0}^{i=24} P_{e_i} \times dt_i$$

Fator de capacidade - FC

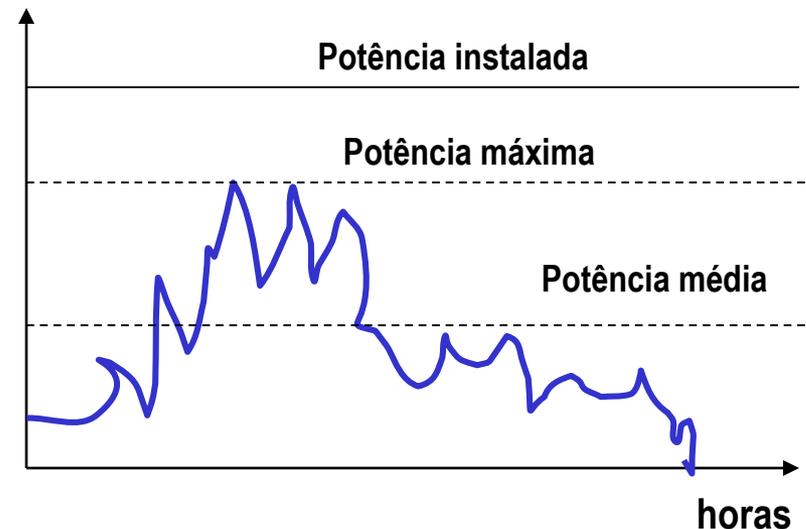
FC = energia efetivamente gerada

Máxima energia possível de ser gerada

= $P_{m\acute{e}dia} / P_{instalada}$

Então $Ed = P_{instal} \times FC \times 24h / dia$

Curva diária de geração

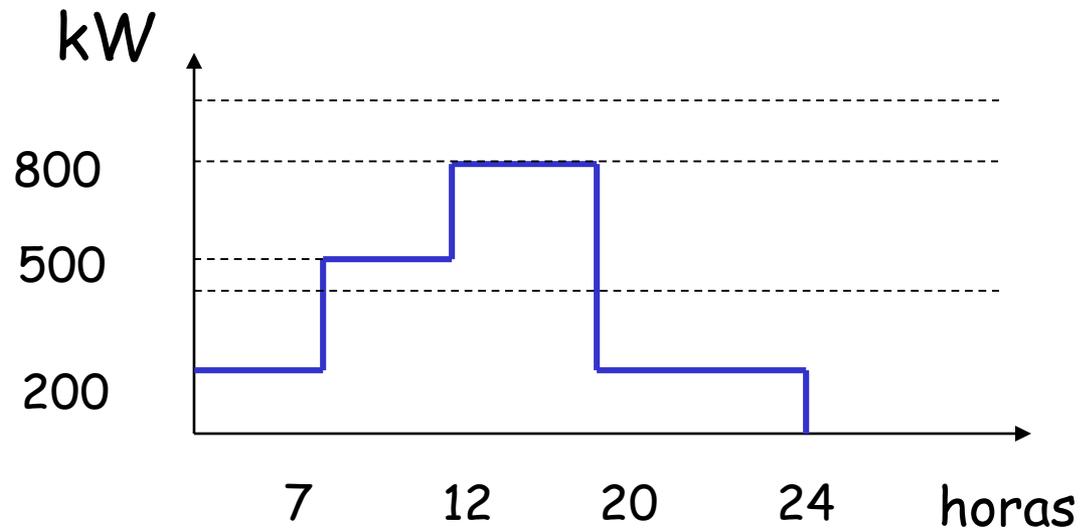


$$= \frac{\int_{i=0}^{i=24} P_{e_i} \times dt_i}{P_{instalada} \times 24 / dia}$$

Exemplo: Uma usina hidrelétrica de 1 MW apresenta a seguinte **curva** diária de geração:

• Indique:

- Potência instalada
- Potência máxima
- Potência média
- Fator de capacidade diário

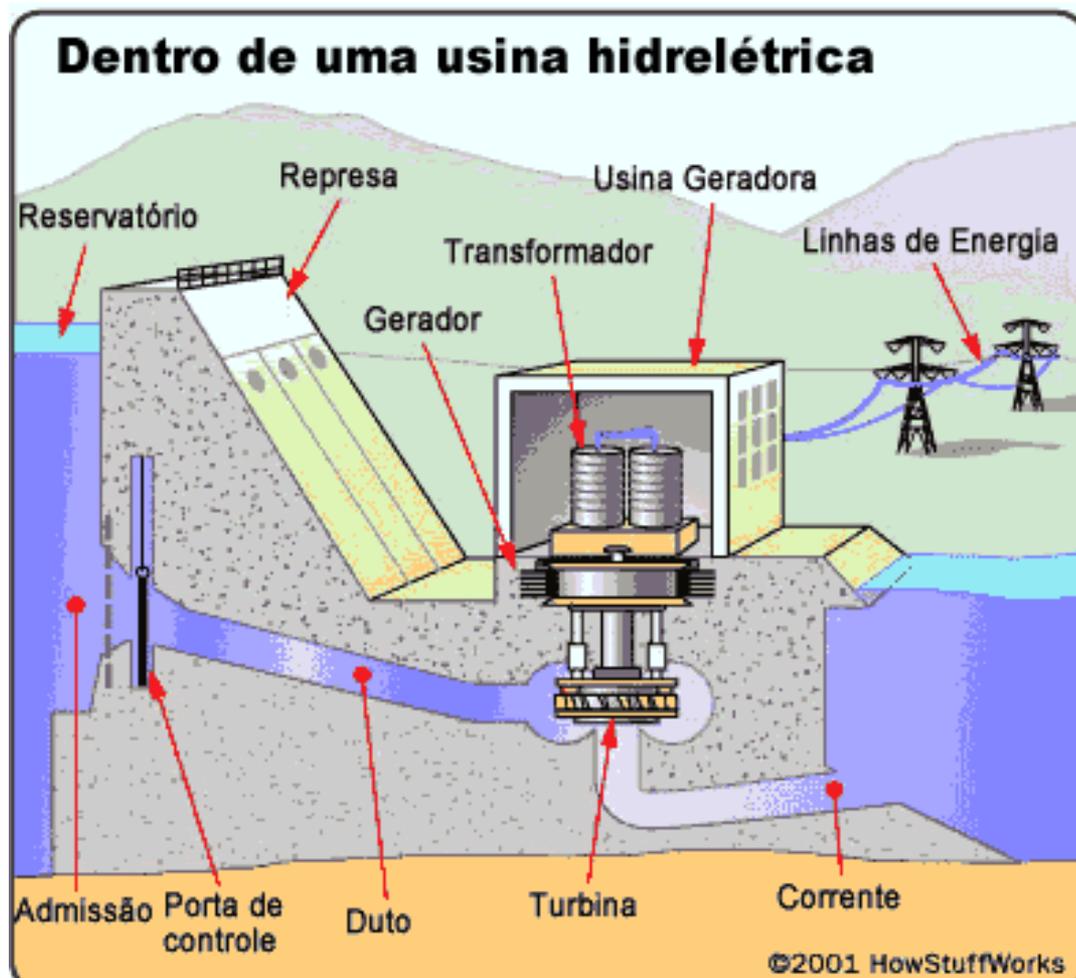


- Qual a diferença entre capacidade ou potência instalada e potência máxima ?
- A potência máxima instantânea pode ser igual à potência ou capacidade instalada? Quando isto acontece?

Hidrelétricas

Principais componentes

- Barragens - represa
- Vertedouro
- Comportas – porta de controle
- Conduitos (duto)
- Chaminés de equilíbrio ou câmara de descarga
- Casas de força : turbina, gerador, válvulas, e demais equipamentos do sistema elétrico



Vista área da Usina de Itaipú



barragem

vertedouro

Potência Instalada

14000 MW

ou 14 GW

Turbinas hidráulicas



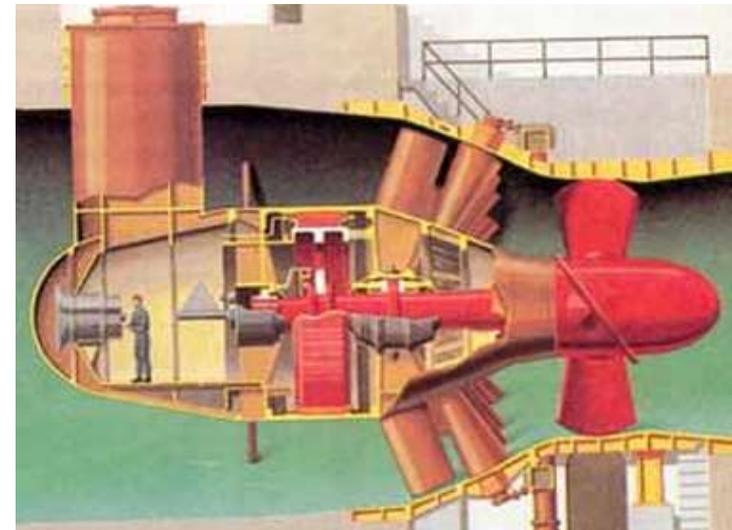
Pelton – Henry Borden



Francis – Itaipú



Kaplan – Andritz Hydro



Bulbo (desenho) – Jirau

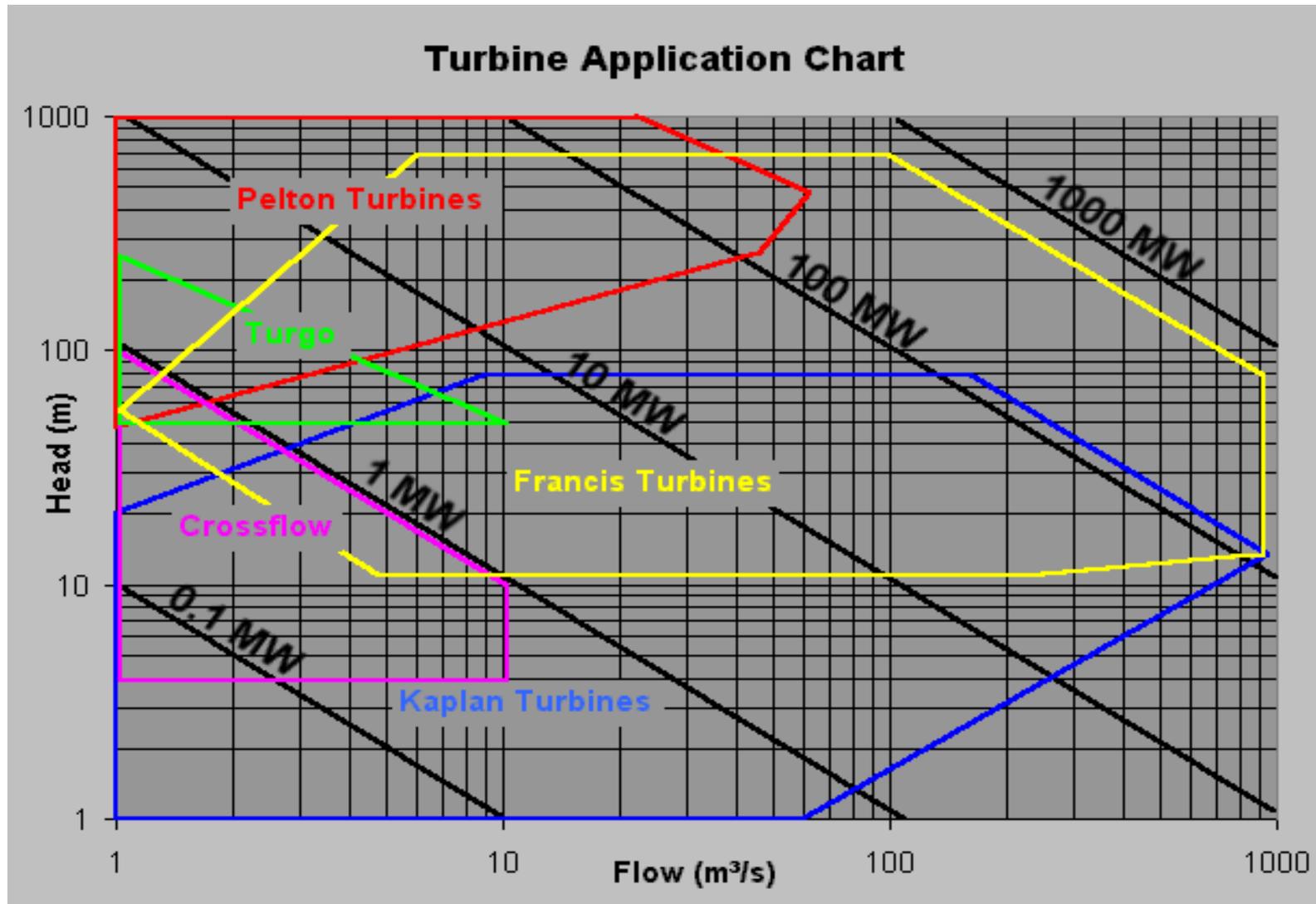


**Usina Henry Borden:
720m de queda 157m³/s
889 MW**

Qual o rendimento?

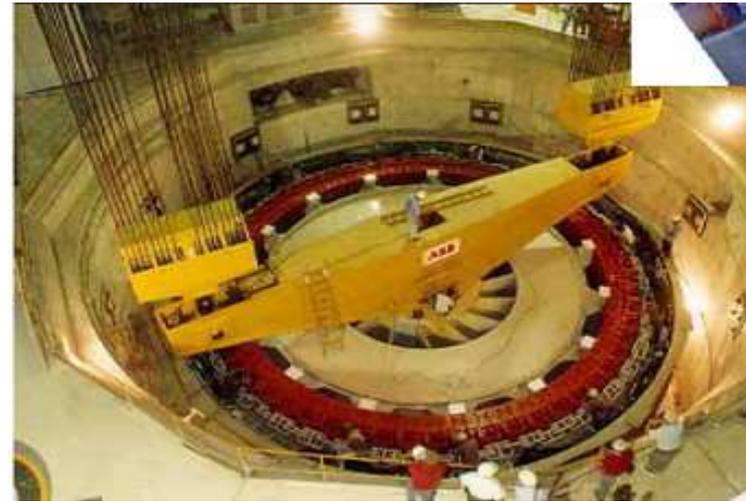


Aplicação de Turbinas hidráulicas



Turbina

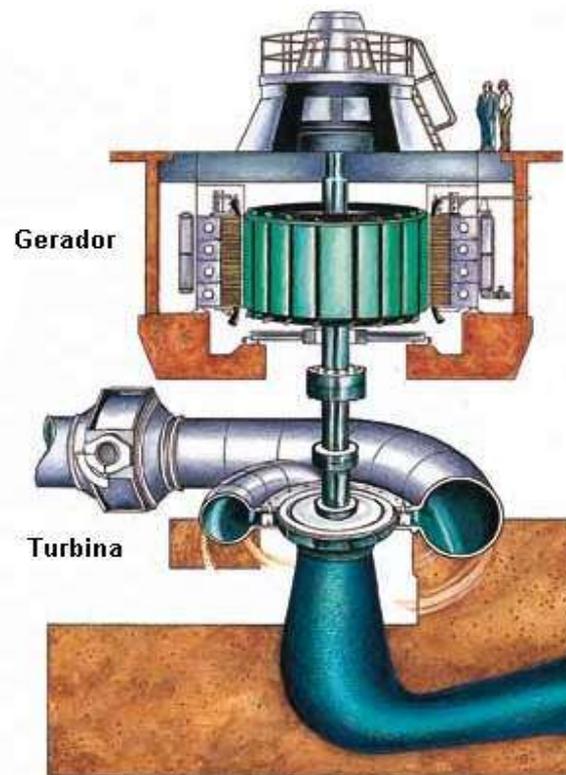
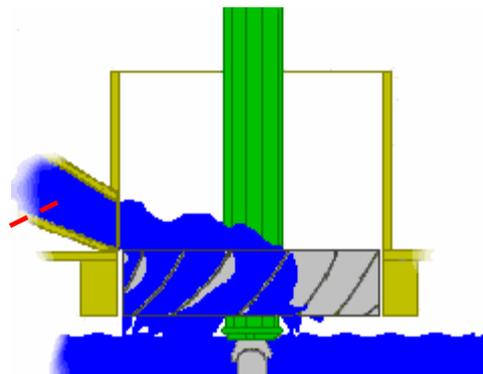
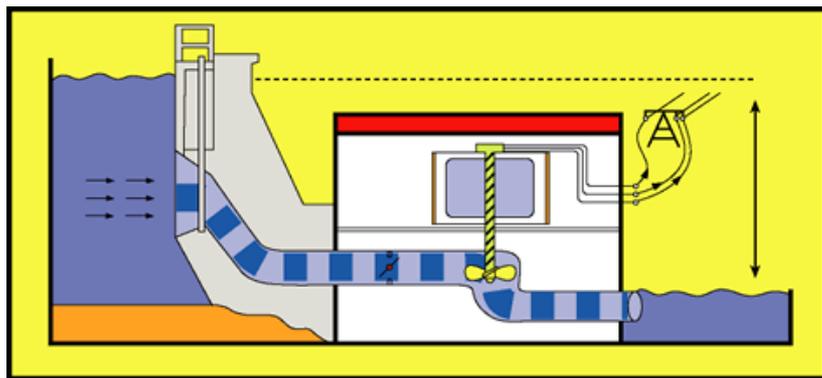
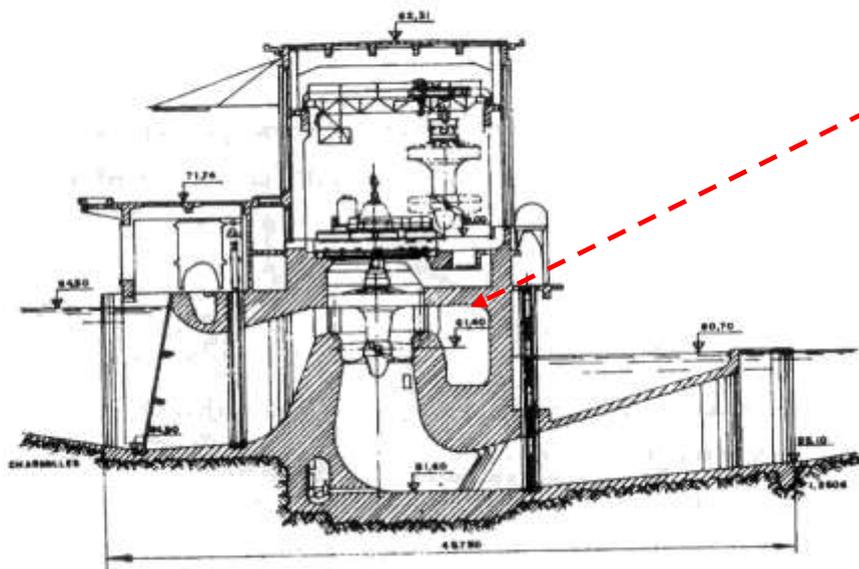
Acoplamento do gerador na turbina



Usina de Itaipu - Conduto Forçado



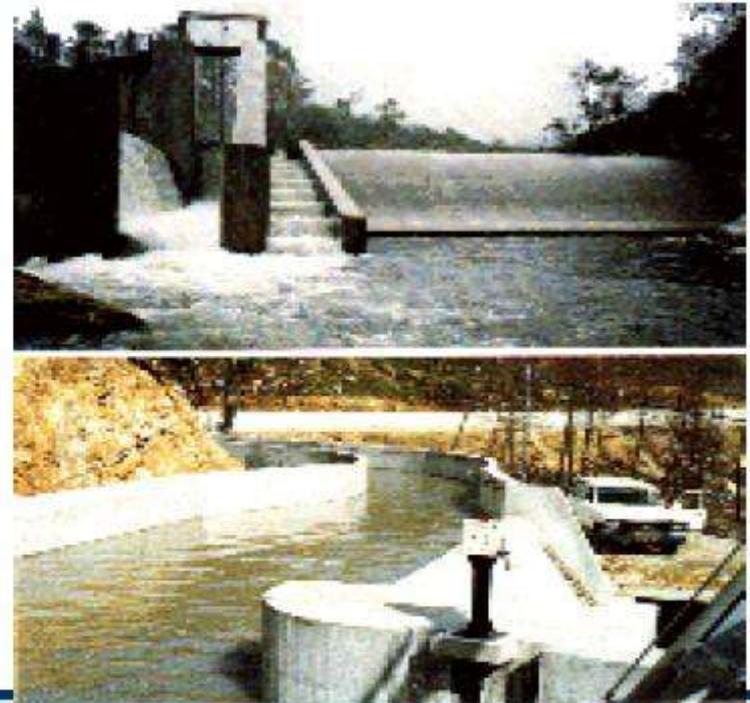
Configuração de uma casa de força



☐ Tipos de centrais hidrelétricas

☐ Quanto ao uso das vazões naturais

1- Central a fio d'água

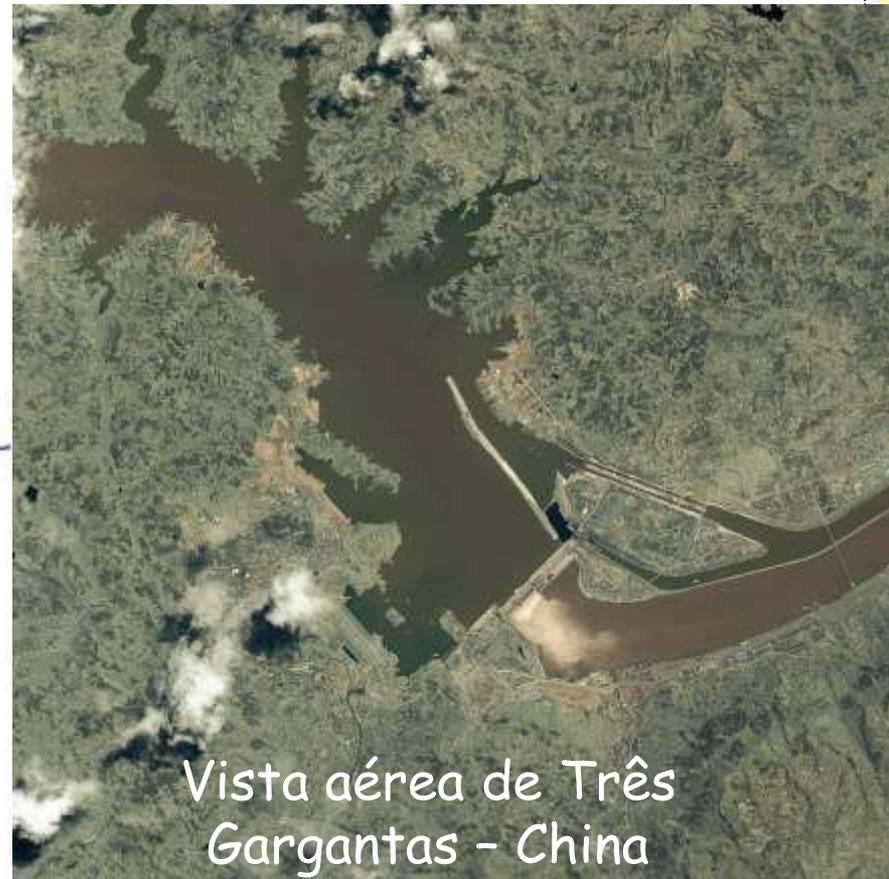
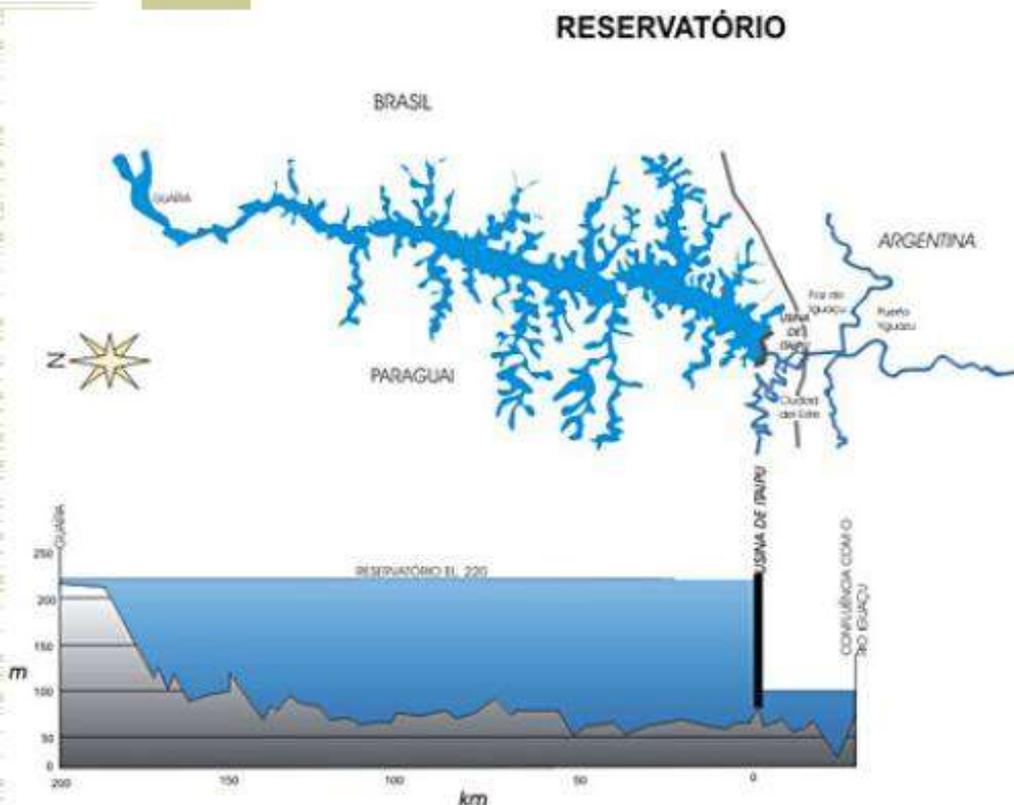


Queda de 89,23 m, vazão de projeto $6,75 \text{ m}^3/\text{s}$
turbinas Francis de 3 640 kW e 1 740 kW

Tipos de centrais hidrelétricas

Quanto ao uso das vazões naturais

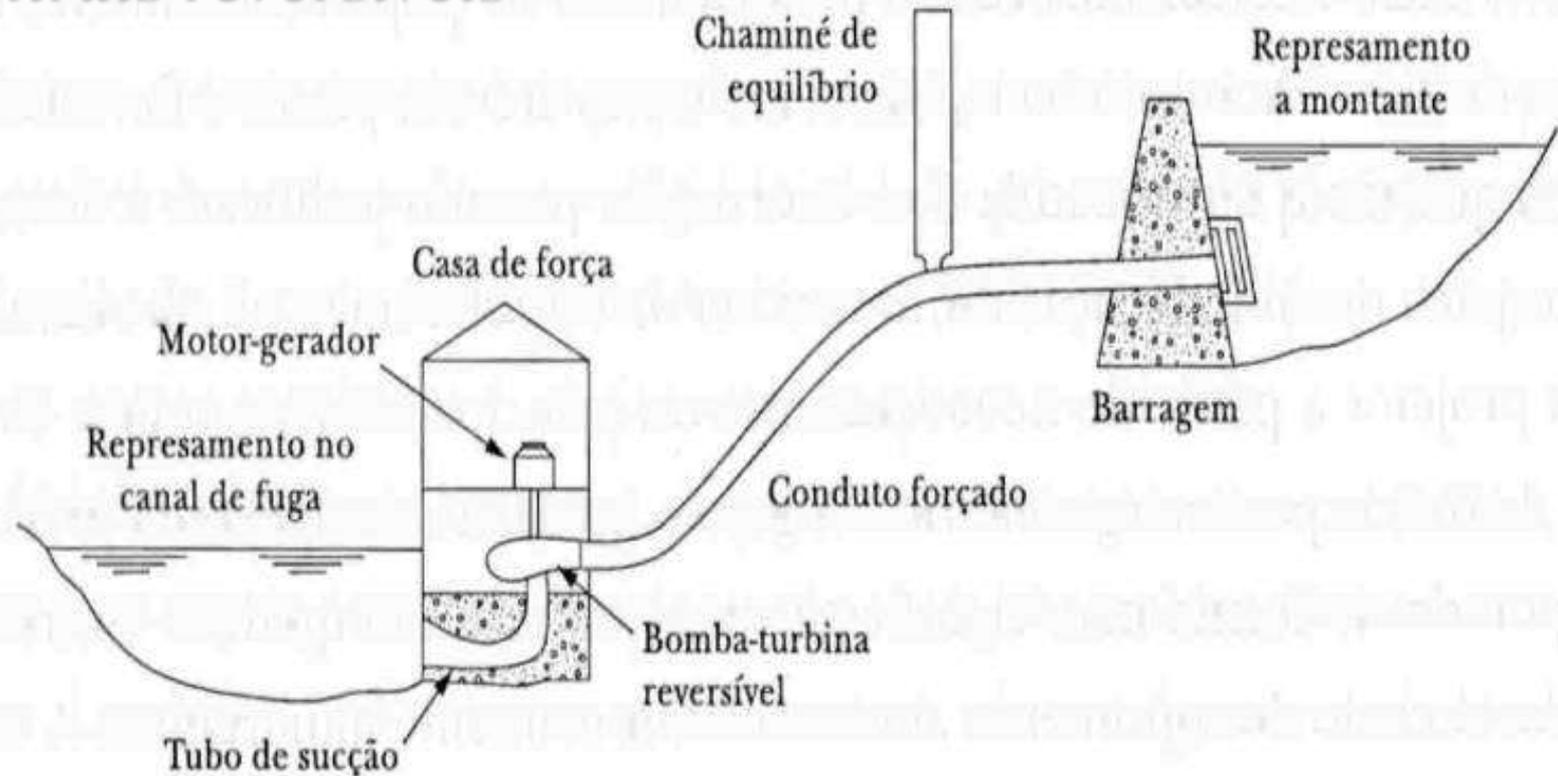
2- Centrais de acumulação



Tipos de centrais hidrelétricas

Quanto ao uso das vazões naturais

3- Centrais reversíveis



Centrais Hidrelétricas - Reversíveis

25



Espanha

13.836MW +-
3.460MW

Iberdrola: 650
p/ 852MW em
2012

+ 3 plantas de
1640MW -para
armazenar
energia Eólica

□ Tipos de centrais hidrelétricas

□ Quanto à potência

- ◆ micro $P < 100 \text{ kW}$
- ◆ mini $100 < P < 1000 \text{ kW}$
- ◆ pequenas $1000 < P < 30\,000 \text{ kW}$
- ◆ médias $30\,000 < P < 100\,000 \text{ kW}$
- ◆ grandes $\geq P \geq 100\,000 \text{ kW}$

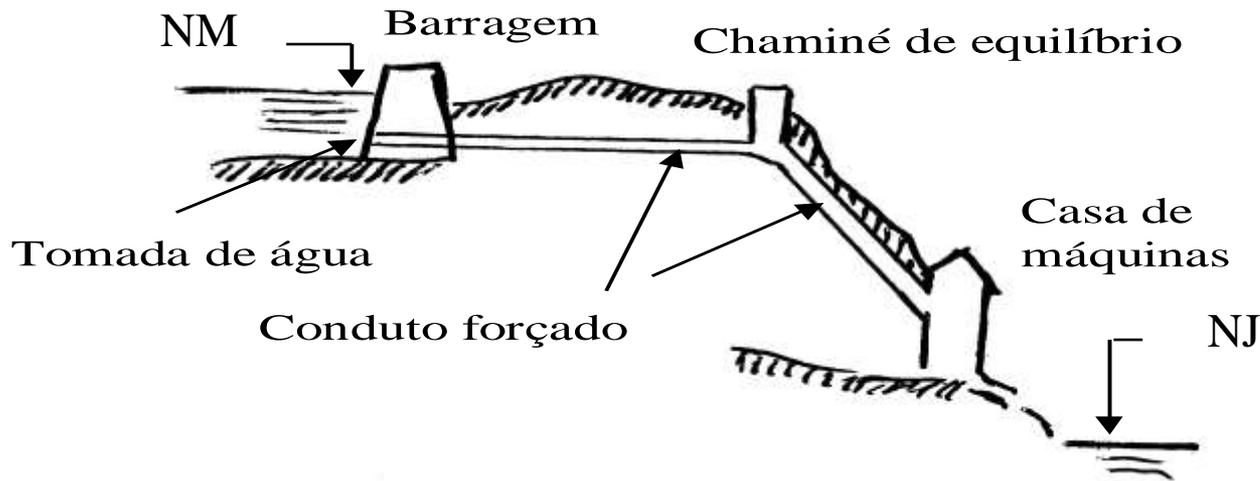
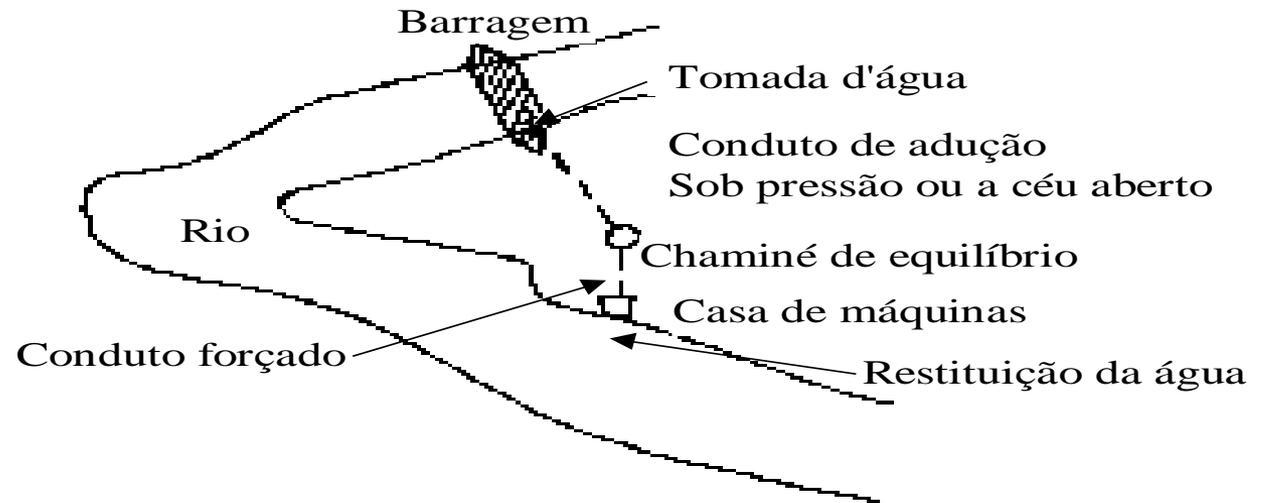
□ Quanto à altura de queda d'água

- ◆ baixíssima $H < 10 \text{ metros}$
- ◆ baixa $10 < H < 50 \text{ metros}$
- ◆ média $50 < H < 250 \text{ metros}$
- ◆ alta $H > 250 \text{ metros}$

□ Quanto à forma de captação de água

- ◆ leito de rio ou de barramento
- ◆ desvio e em derivação

Central Hidrelétrica em Desvio

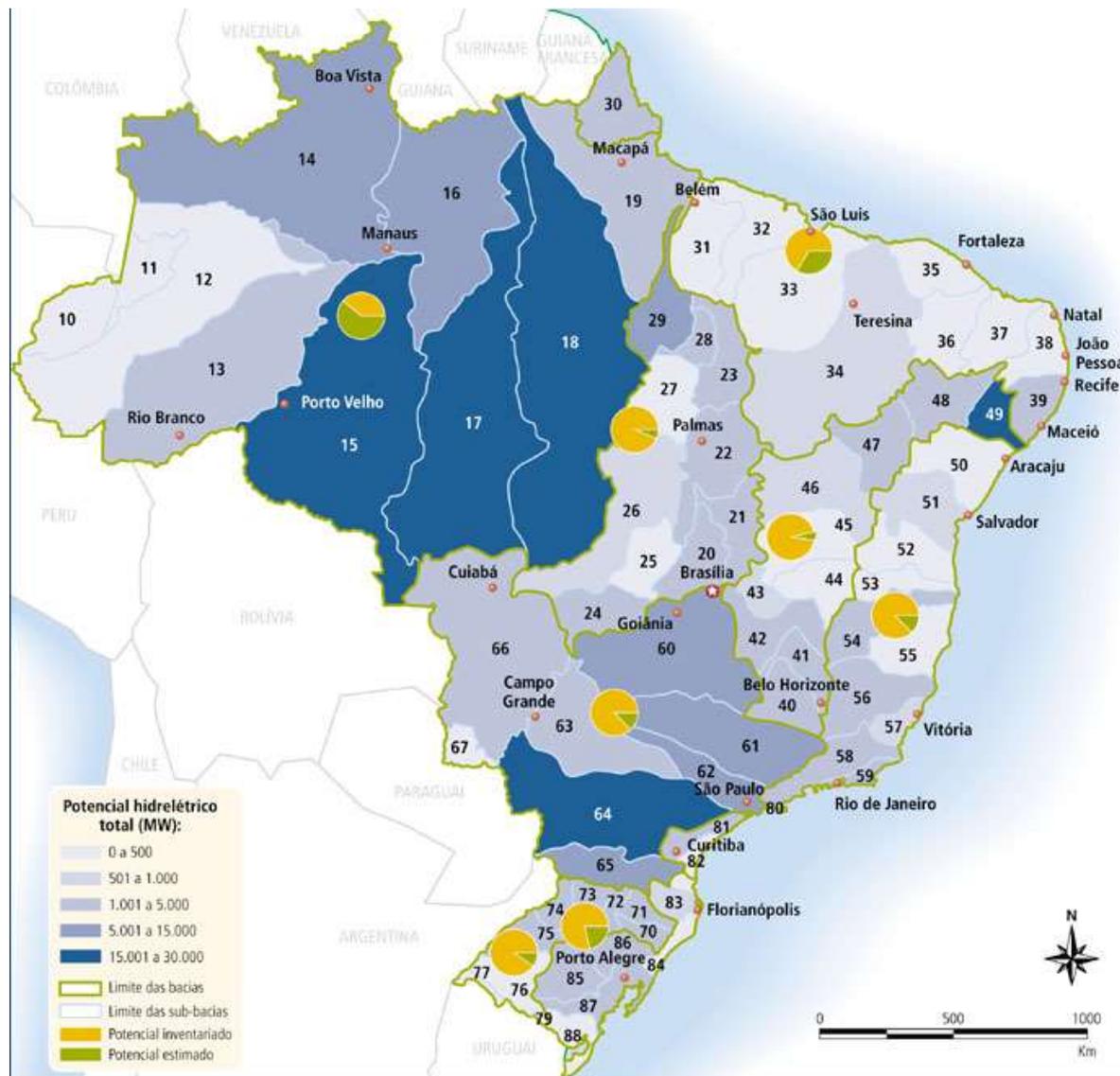


Central Hidrelétrica em Desvio - Belo Monte



Energia Hidráulica no Brasil

Potencial Hidráulico Brasileiro - 2012



Fonte: EPE



Usinas Hidrelétricas no Brasil

As 15 Maiores UHE Brasileiras

Nome	Potência (MW)	Rio	UF
Belo Monte (em construção)	11.233	Xingú	PA
São Luiz do Tapajós (projetada)	8.381	Tapajós	PA
Tucuruí	8.370	Tocantins	PA
Itaipú (parte brasileira)	7.000	Iguaçu	PR
Jirau (em construção)	3.750	Madeira	RO
Ilha Solteira	3.444	Paraná	SP
Xingó	3.162	São Francisco	AL/SE
Santo Antônio (em construção)	3.150	Madeira	RO
Foz do Areia	2.511	Iguaçu	PR
Paulo Afonso	2.462	São Francisco	BA
Itumbiara	2.280	Paranaíba	GO/MG
São Simão	1.710	Paranaíba	GO/MG
Jupia	1.551	Paraná	SP
Porto Primavera	1.540	Paraná	SP
Itaparica	1.480	São Francisco	BA

Fonte: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>

Total de UHEs em operação = 196

Capacidade instalada em UHE: 81,23 GW

Total de PCHs em operação : 461

Capacidade instalada em PCHs: 4,60 GW