

PEA 3100 - Energia, Meio Ambiente e Sustentabilidade

Aula 11 - 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

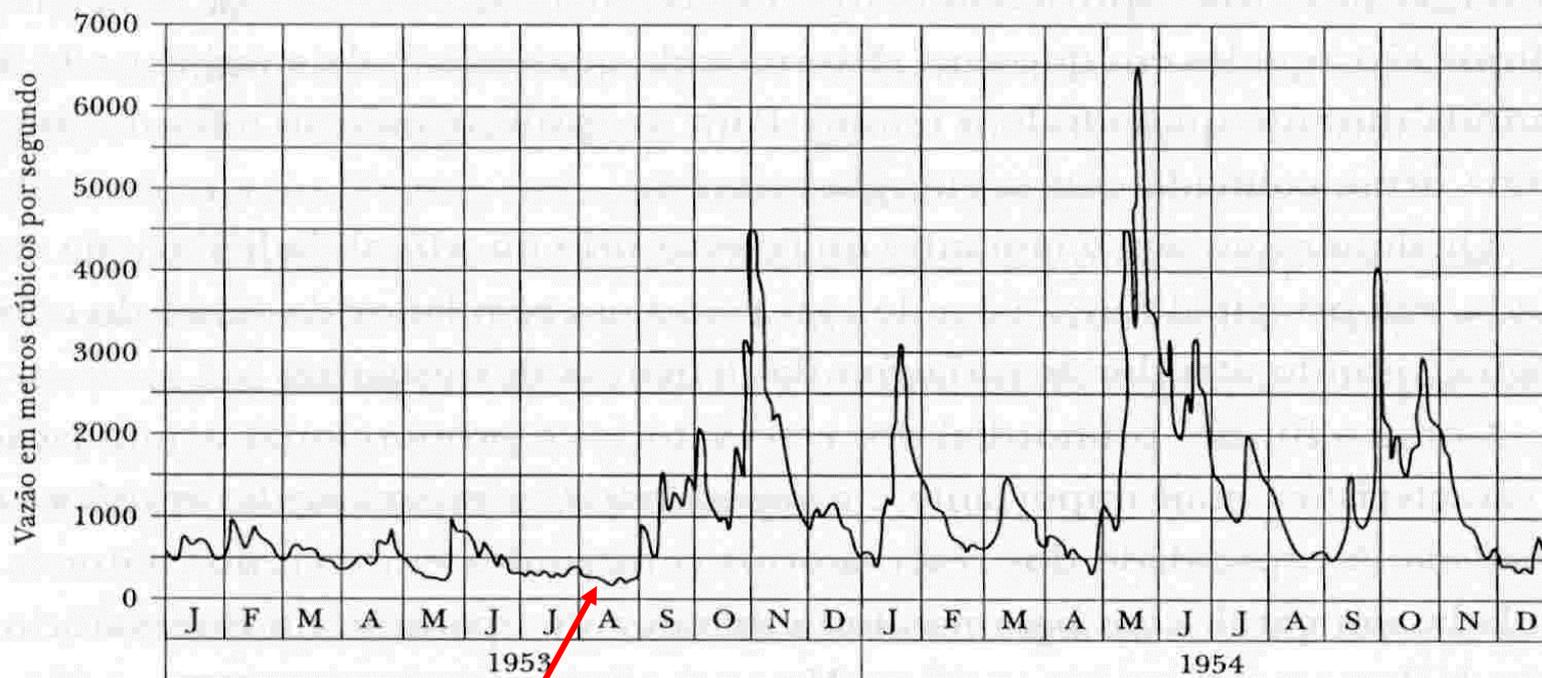
Conceitos básicos de Hidrologia: **Bacia hidrográfica**

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



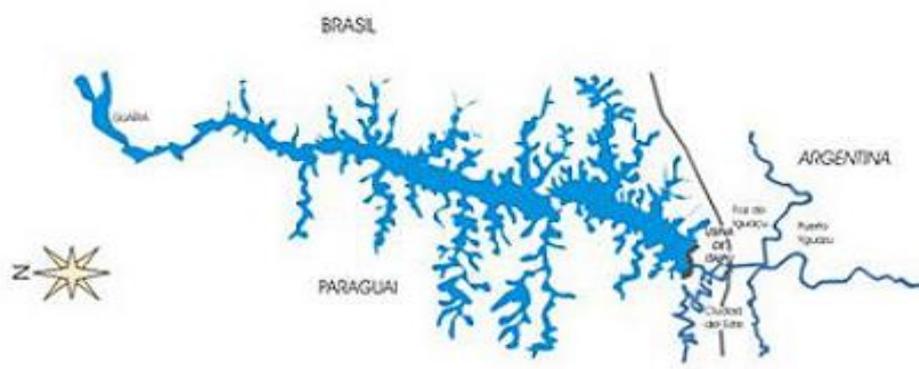
Conceitos básicos de Hidrologia: **Vazão em um curso d'água.**

Exemplo de um **fluviograma** típico:

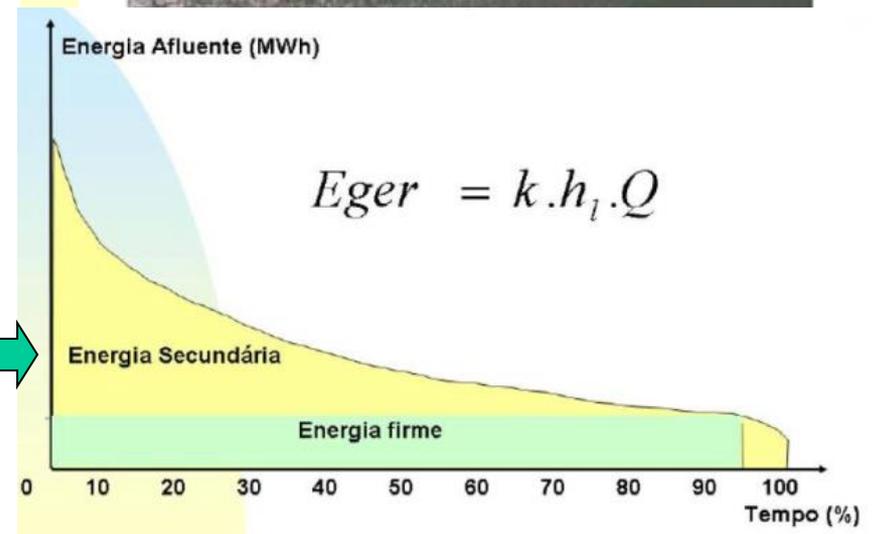
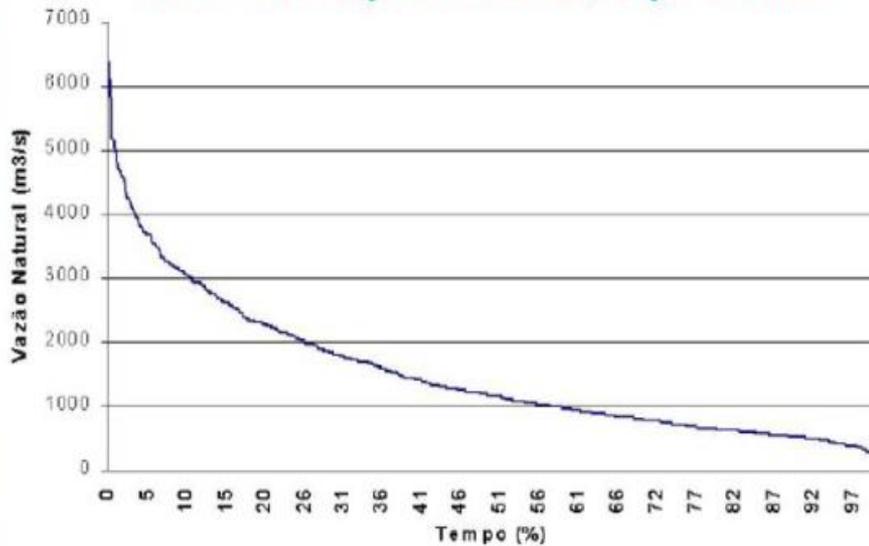


Vazão mínima – presente 95 a 100% do tempo

Conceitos básicos da hidrologia: Regularização de vazões

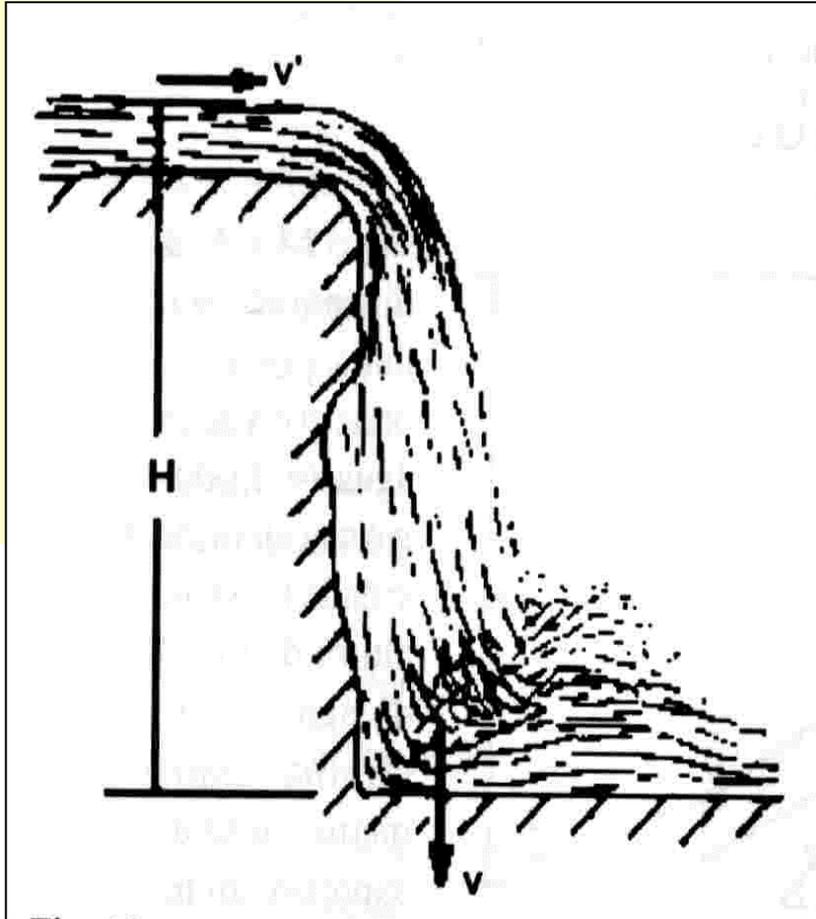


Curva de Permanência das Vazões
Posto Itumbiara - Rio Paranaíba (1931/1992)
Em 95% do tempo a vazão é maior que 436 m³/s



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 muito pequena

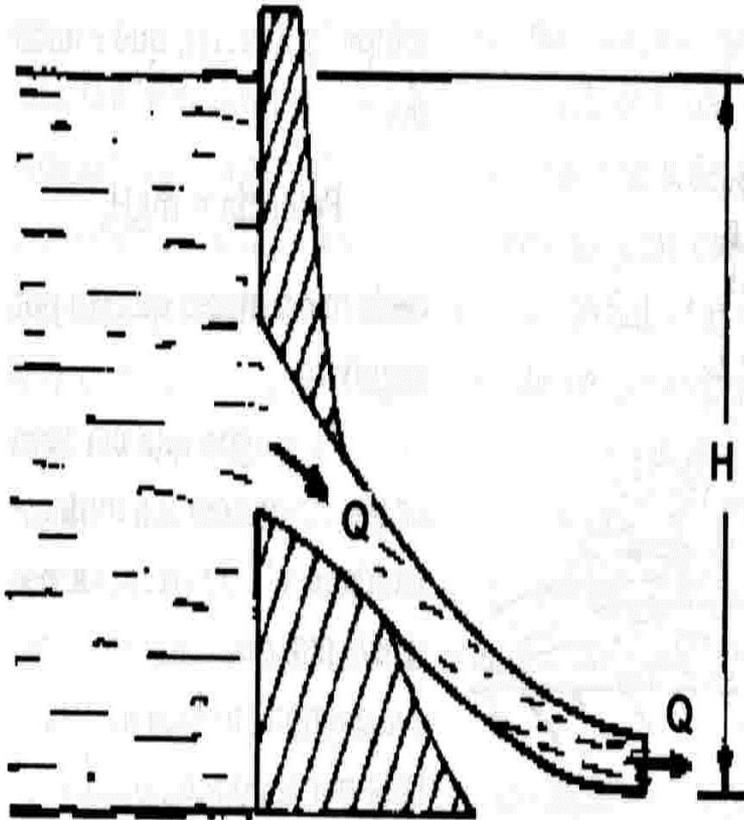
P: Potência

m : "Vazão de massa"

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

Hidrelétricas

Princípio básico de funcionamento



$$\rho = \frac{m}{Q}$$

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

$$PH = gHQ$$

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

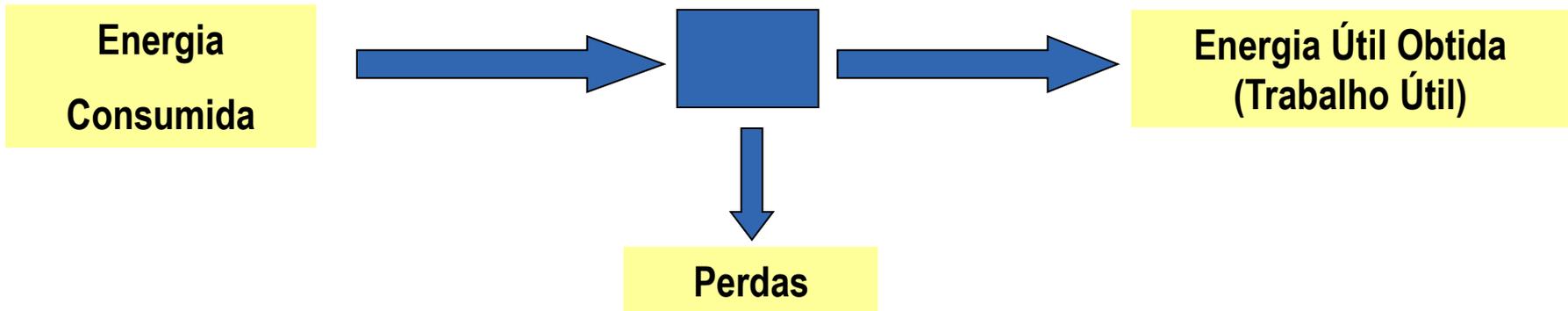
$$\rho = 1000\text{kg/m}^3$$

Potência hidráulica (PH) = 9,81 HQ (kW)

Sendo:

- H em metros
- Q em m³/s

□ **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

Potência elétrica

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

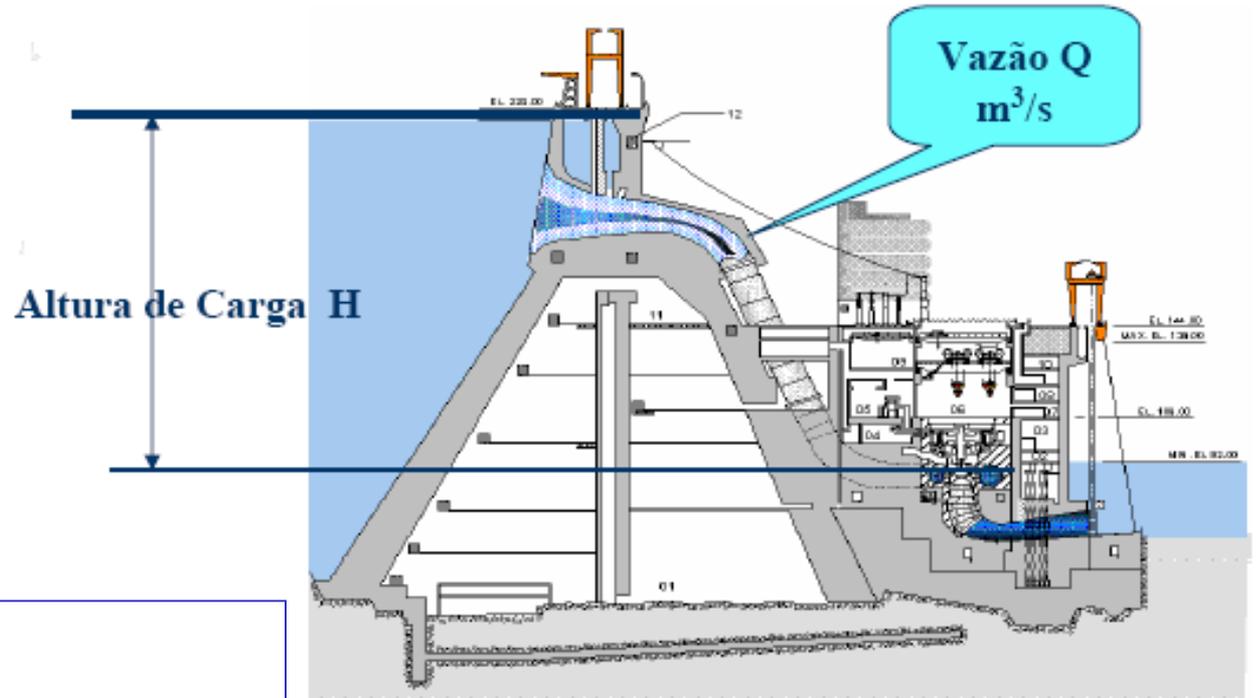
Então, a energia gerada depende:

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

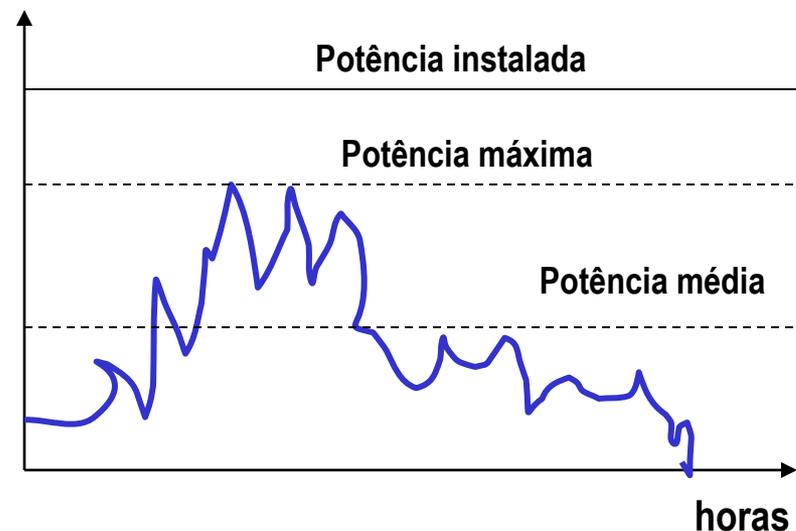
FC = energia efetivamente gerada

Máxima energia possível de ser gerada

= $P_{médica} / P_{máxima}$

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

Curva diária de geração



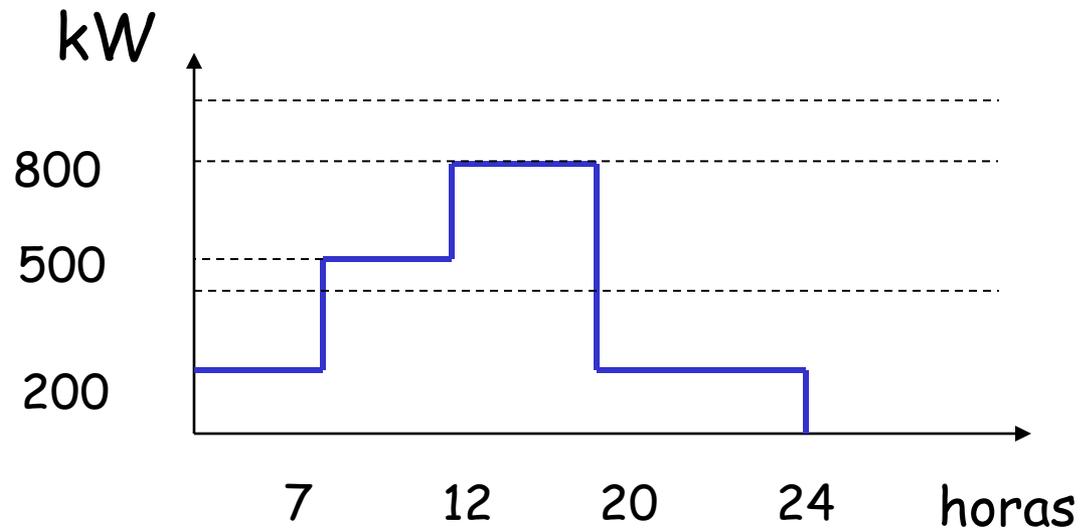
$$\int_{i=0}^{i=24} P_{e_i} \times dt_i$$

$$P_{max} \times 24 / dia$$

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

• **Calcule:**

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

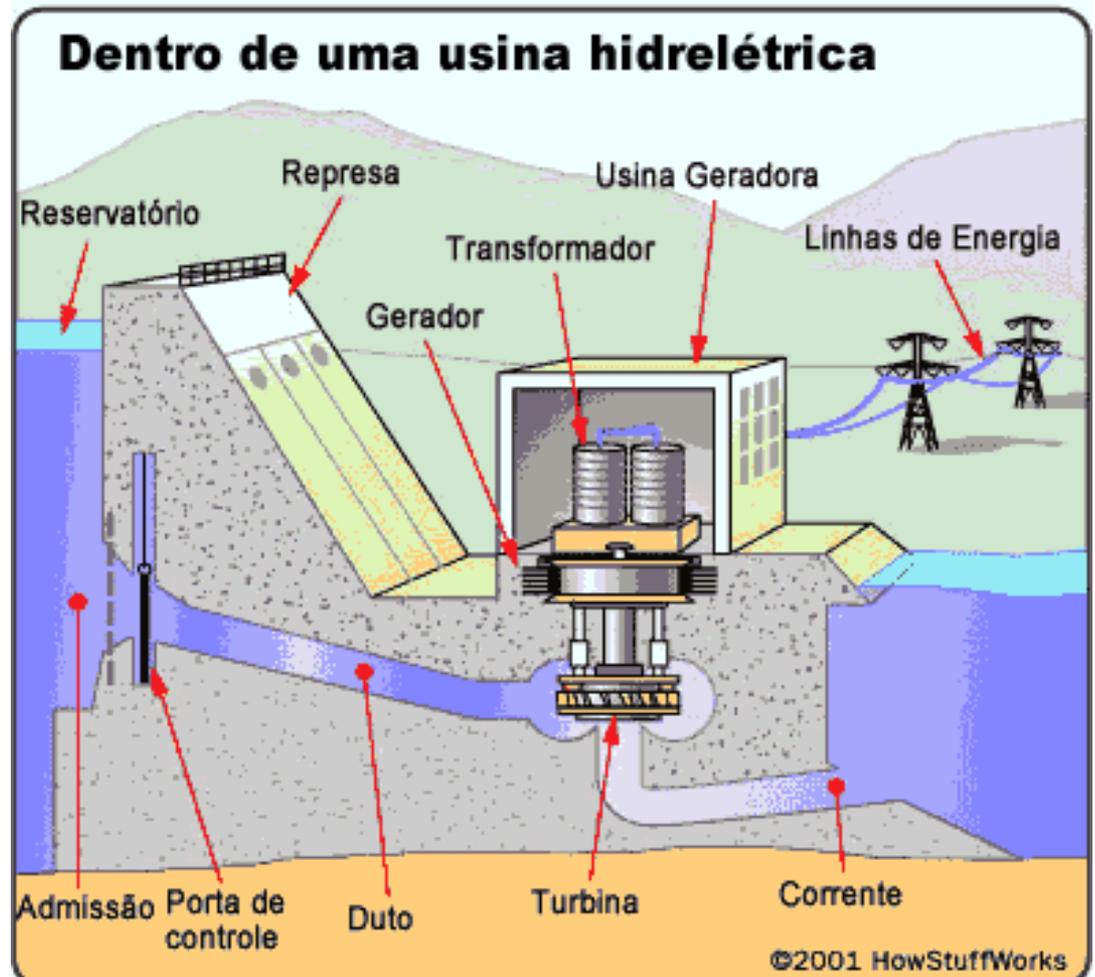


- Qual a diferença entre capacidade ou potência instalada e potência máxima ?
- A potência máxima instantânea pode ser igual à potência ou capacidade instalada? Quando isto acontece?

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



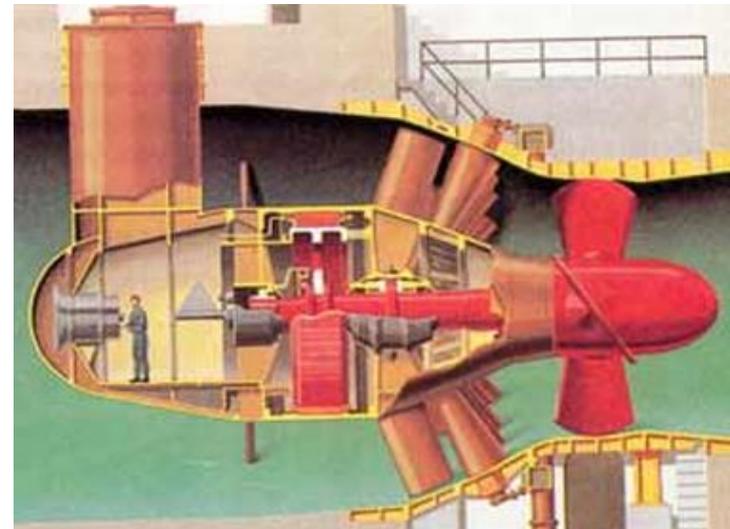
Pelton – Henry Borden



Francis – Itaipú



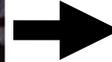
Kaplan – Andritz Hydro



Bulbo (desenho) – Jirau

Turbina

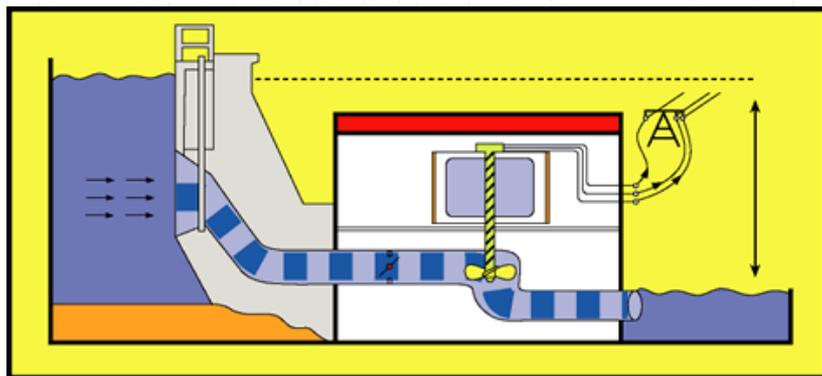
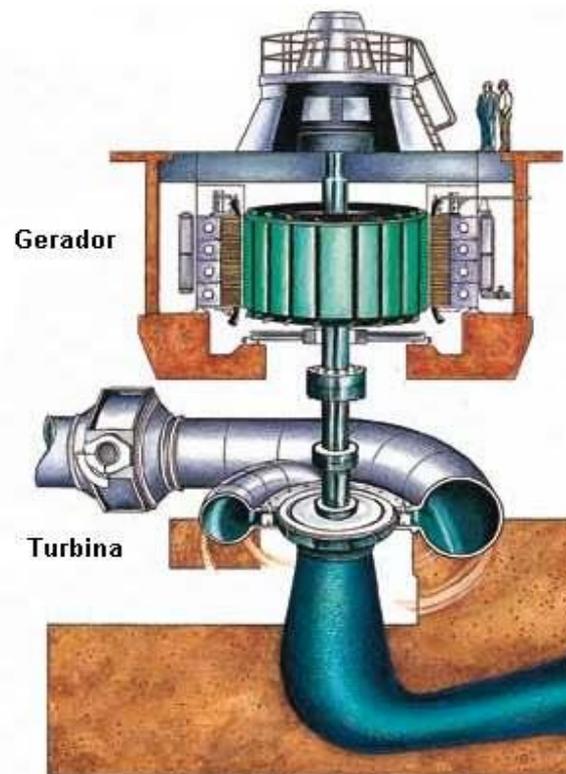
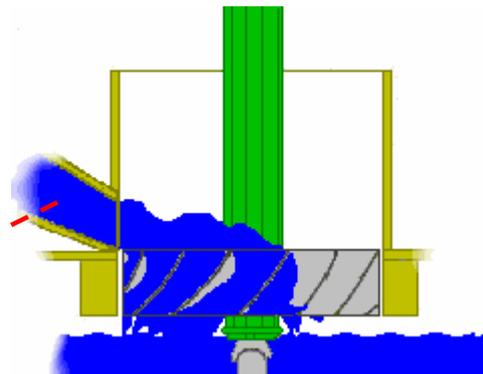
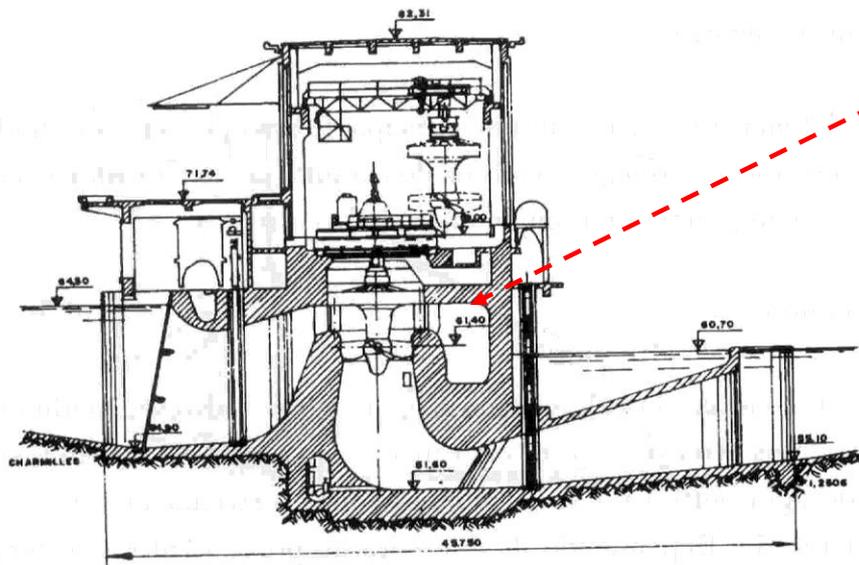
Acoplamento do gerador na turbina



Usina de Itaipu - Conduto Forçado



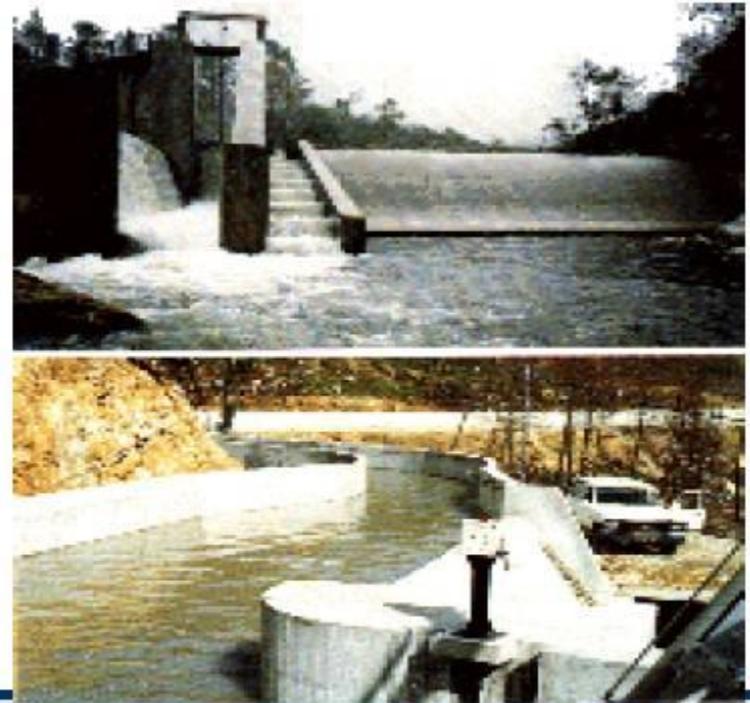
Configuração de uma casa de força



Tipos de centrais hidrelétricas

Quanto ao uso das vazões naturais

1- Central a fio d'água

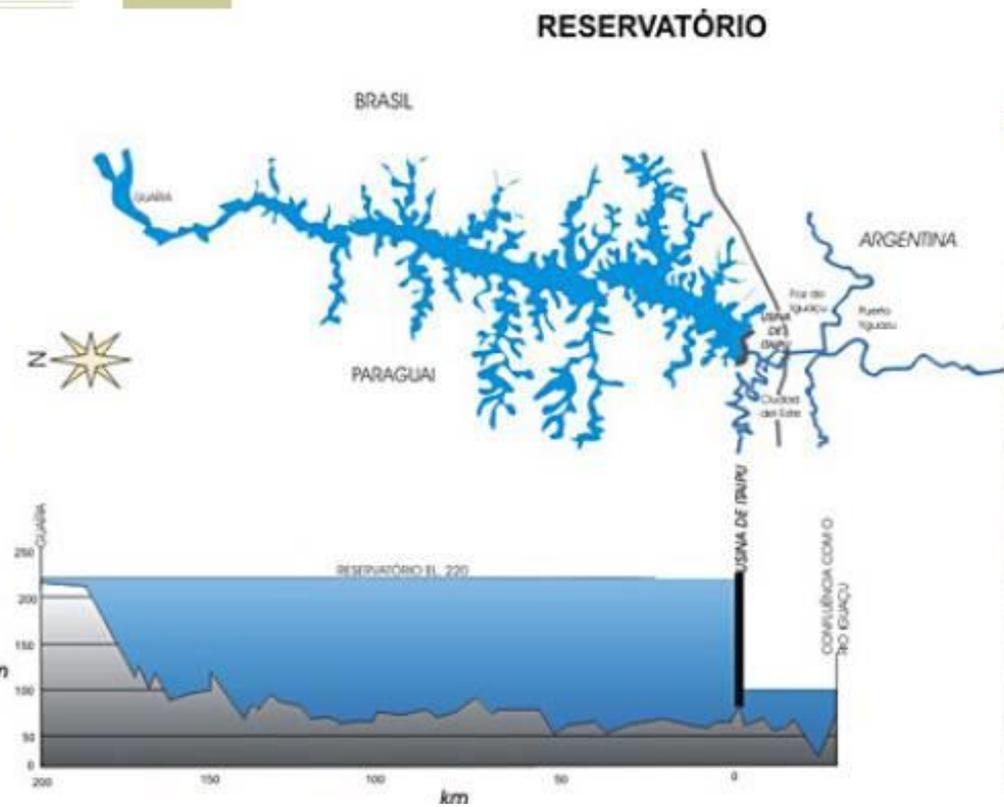


Queda de 89,23 m, vazão de projeto 6,75 m³/s
turbinas Francis de 3 640 kW e 1 740 kW

Tipos de centrais hidrelétricas

Quanto ao uso das vazões naturais

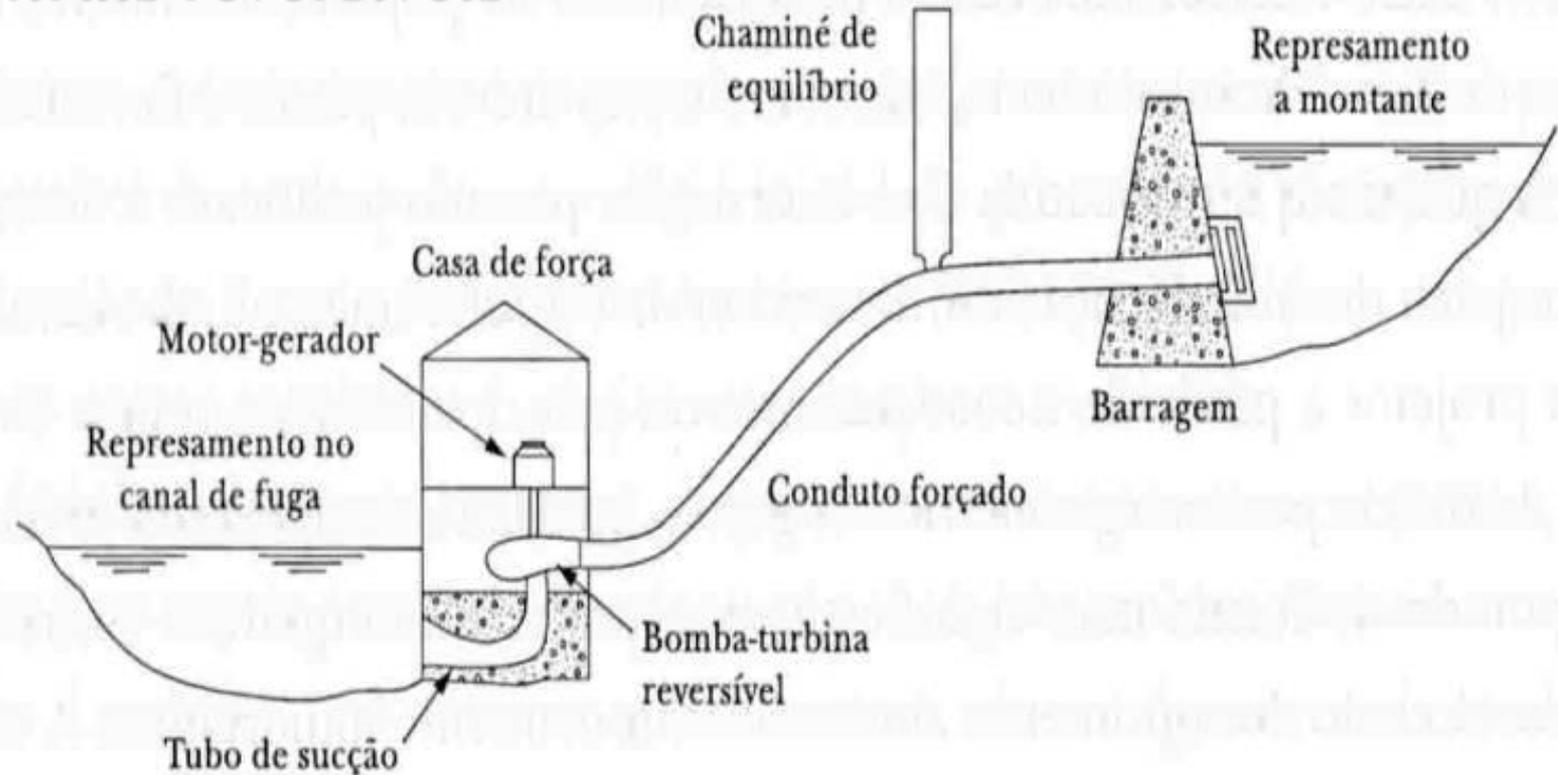
2- Centrais de acumulação



Tipos de centrais hidrelétricas

Quanto ao uso das vazões naturais

3- Centrais reversíveis



□ 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 $\geq P \geq 100\,000 \text{ kW}$

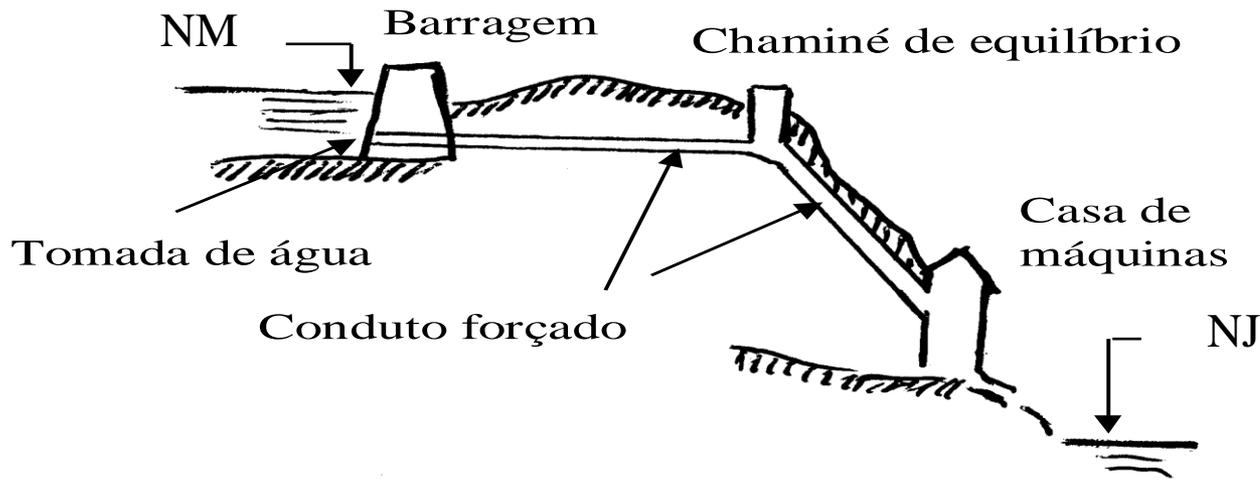
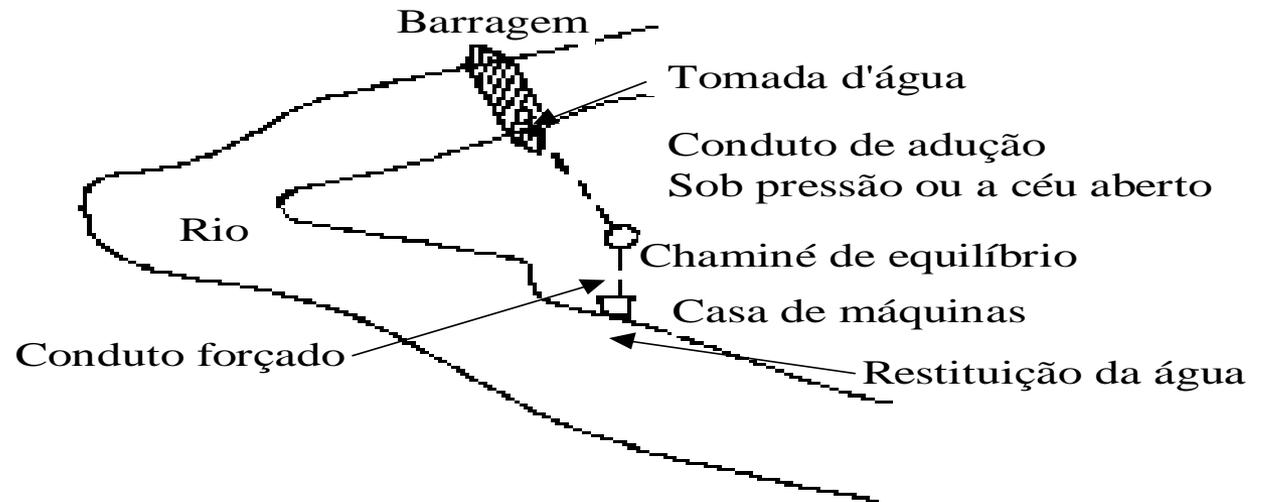
□ Quanto à altura de queda d'água

- ◆ 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

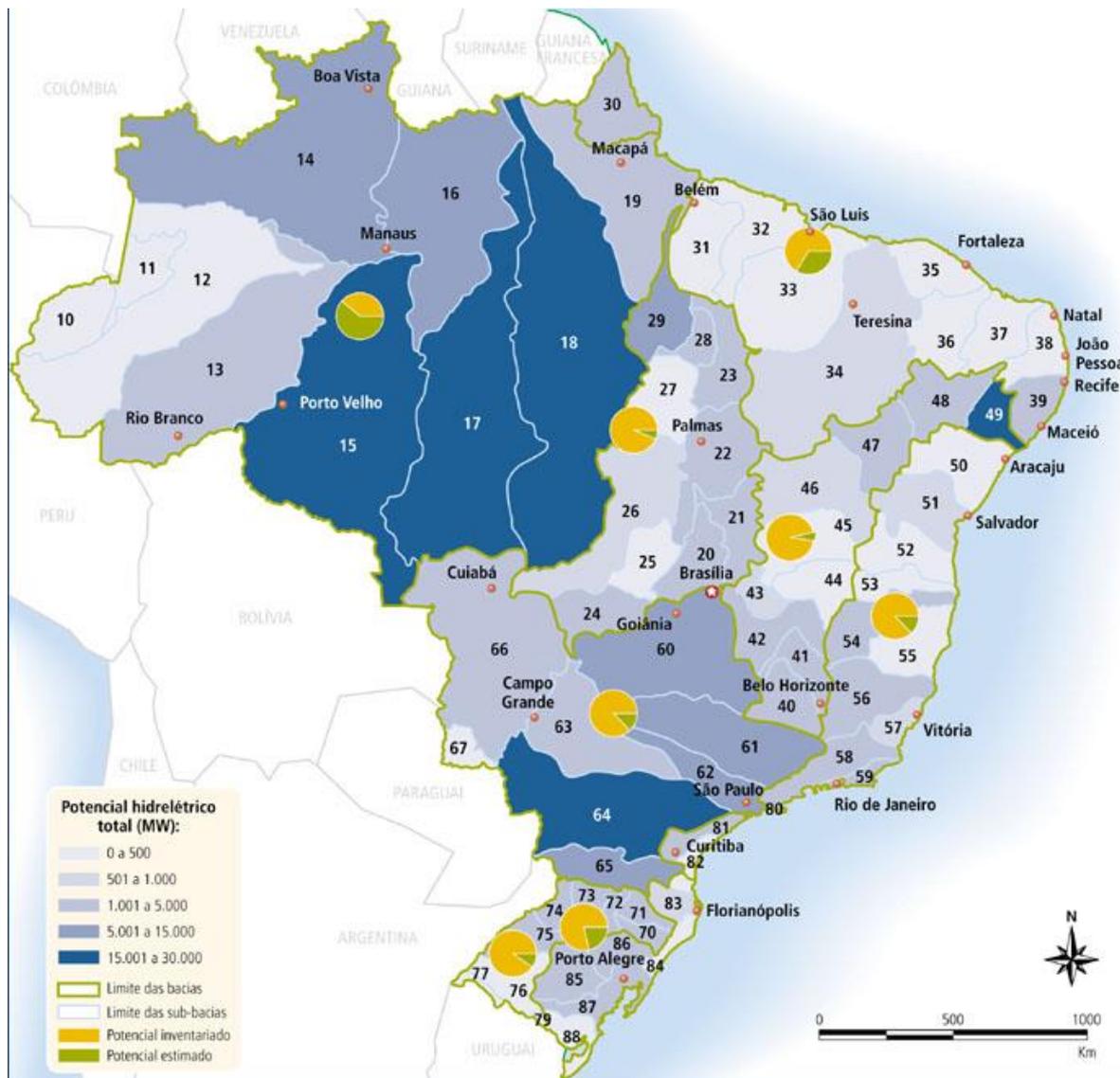
- ◆ leito de rio ou de barramento
- ◆ desvio e em derivação

Central Hidrelétrica em Desvio



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	11233	Xingú	PA
Tucuruí	8535	Tocantins	PA
Itaipu (parte brasileira)	7000	Iguaçu	PR
São Luíz do Tapajós (em construção)	6356	Tapajós	PA
Jirau	3750	Madeira	RO
Santo Antônio	3568	Madeira	RO
Ilha Solteira	3444	Paraná	SP
Xingó	3162	São Francisco	AL/SE
Paulo Afonso IV	2462	São Francisco	AL/BA
Itumbiara	2082	Paranaíba	GO/MG
Teles Pires	1820	Teles Pires	PA/MT
São Simão	1710	Paranaíba	MG/GO
Foz do Areia	1676	Iguaçu	PR
Jupiá	1551	Paraná	SP/MS
Porto Primavera	1540	Paraná	MS/SP

Total UHEs em operação	220
Capacidade Instalada em UHEs	101,9 GW
Total PCHs em operação	428
Capacidade Instalada em PCHs	5,1 GW

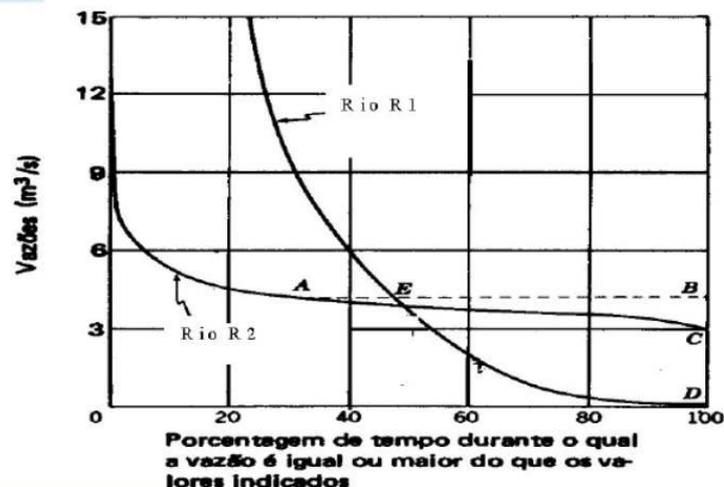
Fonte: EPE



Exercício

Considerando a instalação de uma UHE na seção reta de cada um dos rios abaixo, responda as seguintes perguntas

Curvas de Duração ou Persistência



- Para obtenção de uma energia firme, em qual dos rios abaixo a UHE necessitará de reservatório? Explique sua resposta.
- Considerando uma altura de barragem de 100 metros e a instalação de uma Usina a fio d' água no Rio 2 com potência máxima definida pela vazão firme. Qual será o valor anual da energia firme (MWh) e sua potência máxima? Considere um rendimento total de 70% da usina.
- Caso a mesma Usina instalada no Rio 2 seja instalada no Rio 1 por quanto tempo ela produzirá energia na sua potência máxima?