

PEA 3496

Energia e Meio Ambiente: Sistemas Energéticos e seus Efeitos Ambientais

Usinas Hidrelétricas

Prof. Marco Saidel



Geração hidrelétrica



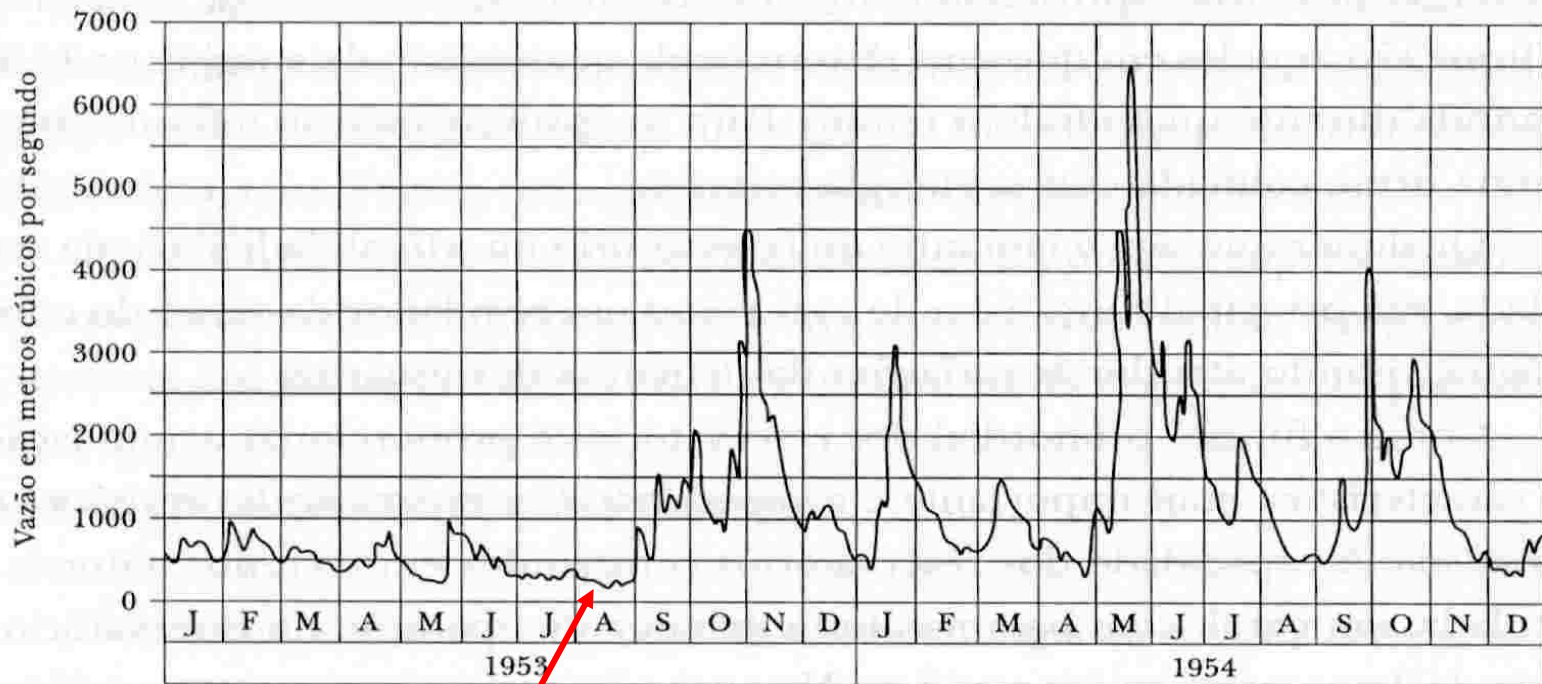
Conceitos básicos de hidrologia: **Bacia hidrográfica**

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**

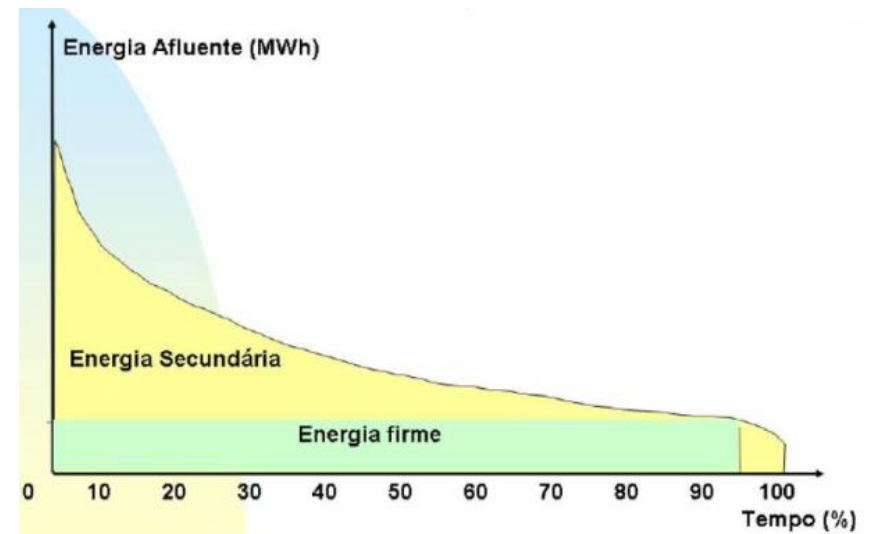
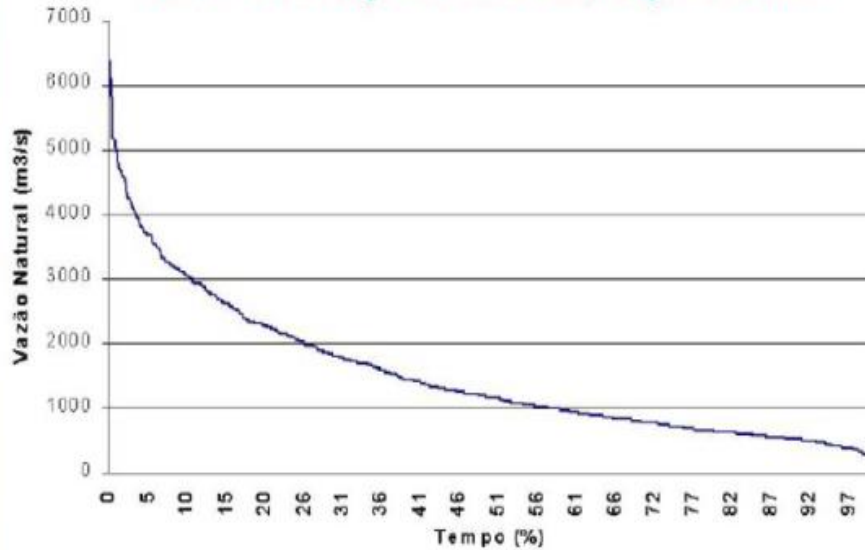
Exemplo de um **fluviograma** típico:



Vazão mínima – presente 95 a 100% do tempo

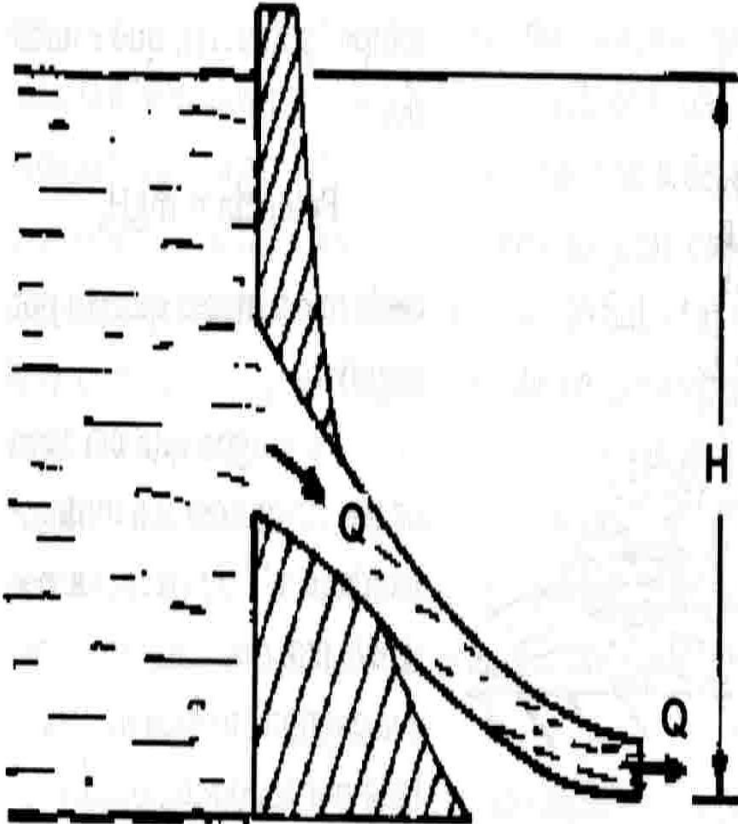
Aspectos básicos da hidrologia: Regularização de vazões

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



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

Sendo:

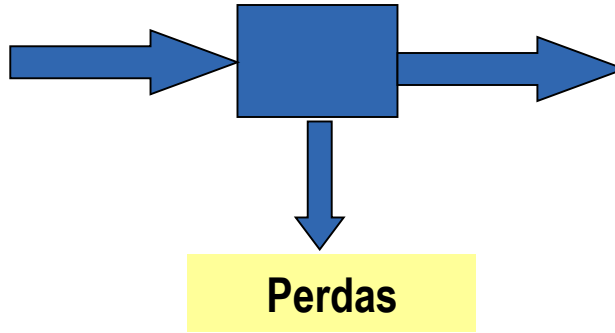
- H em metros
- Q em m^3/s
- 9,81 é a aceleração da gravidade (m/s^2)

Hidrelétricas

Características

□ **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.

Energia Consumida



Energia Útil Obtida (Trabalho Útil)

Perdas

Rendimento total de uma UHE:

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

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{com } \eta_H \geq 0,96 \\ 0,97 \geq \eta_g \geq 0,90 \\ 0,94 \geq \eta_T \geq 0,88 \\ 0,76 \leq \eta_{TOT} \leq 0,87 \end{array} \right.$$

$$\eta = \frac{\text{Potência útil}}{\text{Potência consumida}}$$

onde

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta_H - \text{Rendimento do sistema hidráulico} \\ \eta_g - \text{Rendimento do gerador} \\ \eta_T - \text{Rendimento da turbina} \end{array} \right.$$

□ Potência e energia elétrica

$$P = g \times H \times Q$$

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

$$E_{el} = P_{el} \times \text{tempo}$$

onde

P: potência hidráulica(kW)

g: aceleração da gravidade (9,81m/s²)

H: altura(m)

Q: vazão (m³/s)

P_{el}: potência elétrica (kW)

E_{el}: energia elétrica gerada(kWh)

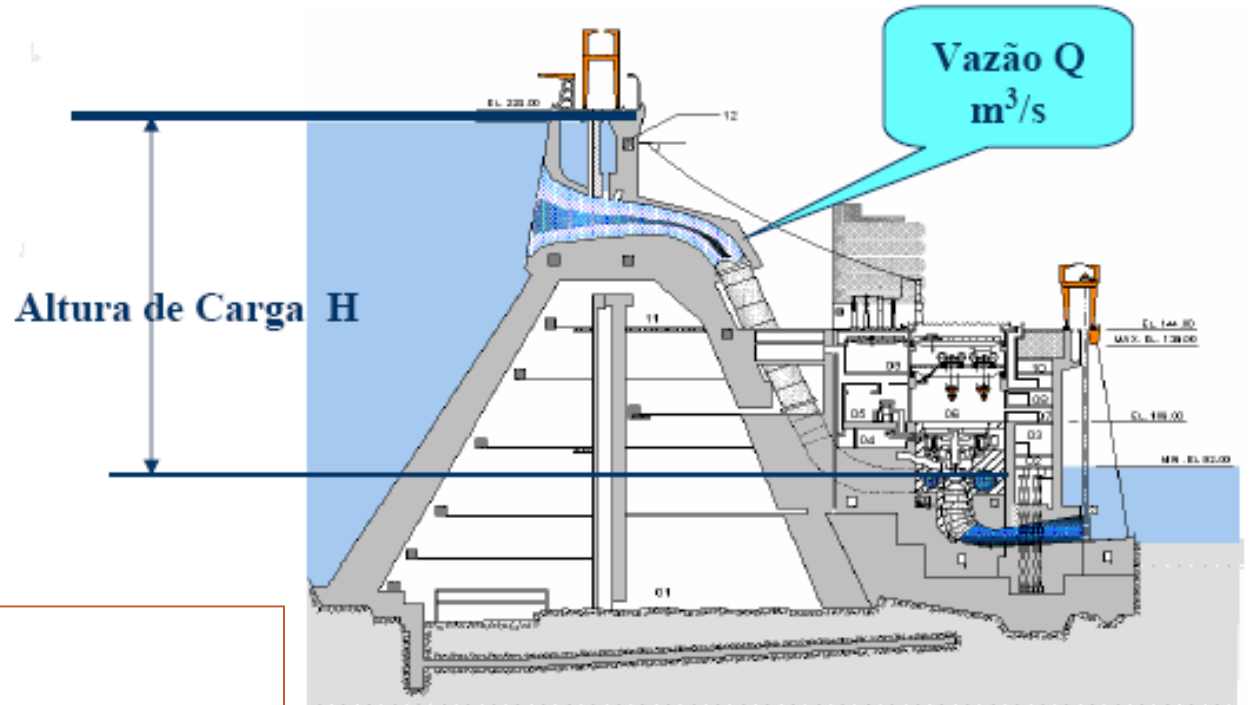
Então, a energia gerada depende:

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

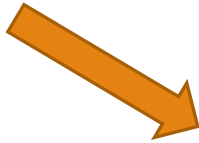
$$Ed = 9,81 \times H \times Q \times \eta_H \times \eta_T \times \eta_g \times 24h / dia$$

$$Ed = 5737,23$$

kWh/dia

□ Fator de capacidade de uma UHE

$$FC = \frac{\textit{energia gerada}}{\textit{capacidade instalada} \times \textit{tempo}}$$



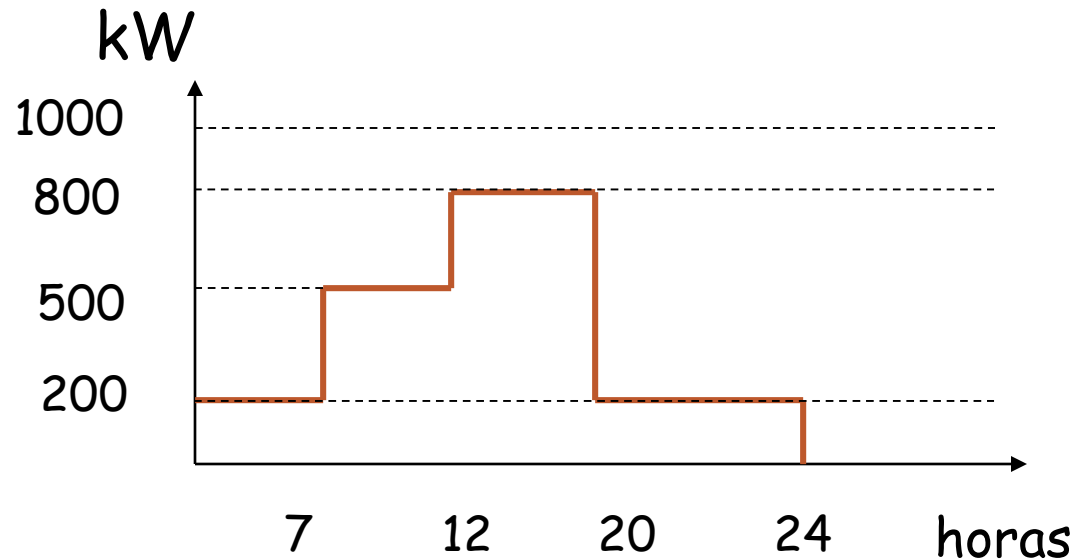
□ Energia diária gerada

$$E_d = FC \times P_{max} \times 24$$

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

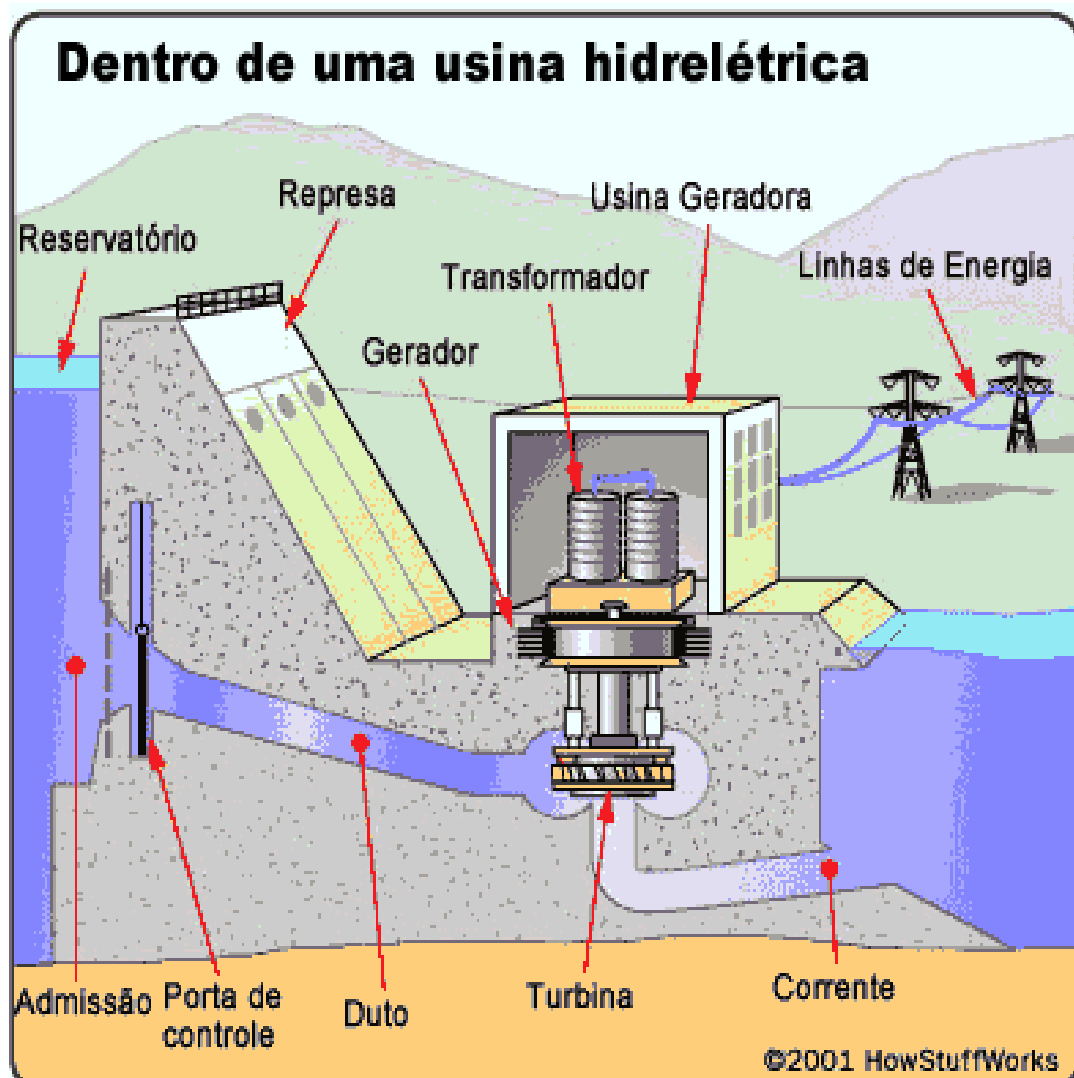


- Qual a diferença entre capacidade ou potência instalada e potência máxima ?
- A potência máxima instantânea pode ser igual à potência ou capacidade instalada? Quando isto acontece?

Hidrelétricas

- 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

Principais componentes



Vista área da Usina de Itaipú



barragem

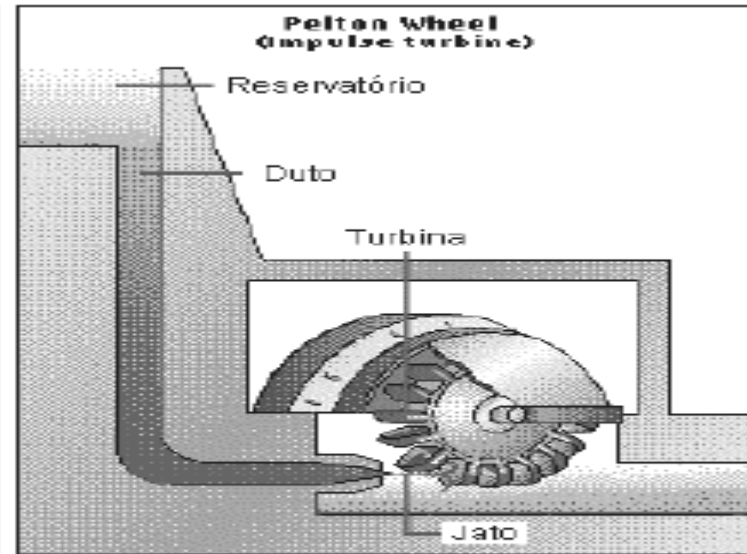
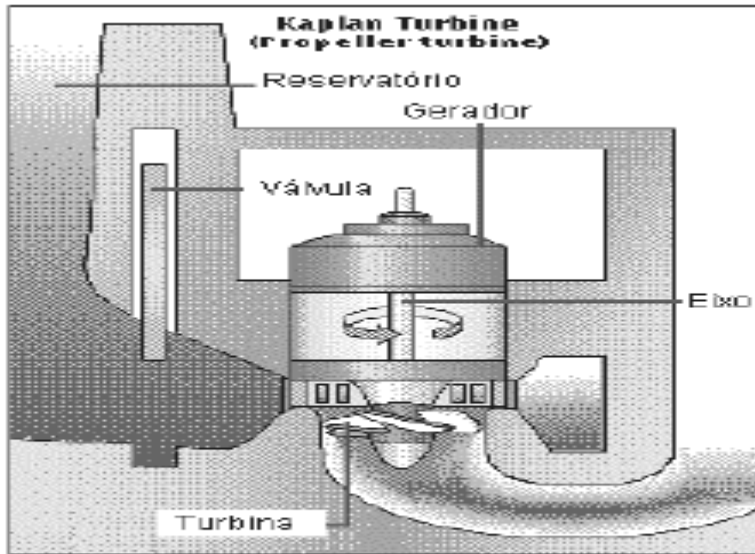
vertedouro

Potência Instalada

14000 MW

ou 14 GW

Turbinas hidráulicas



Turbinas Hidráulicas acopladas a Geradores Elétricos – Vários tipos de turbinas hidráulicas podem ser empregadas de acordo com o volume e a pressão/velocidade do fluxo de água que as acionam.

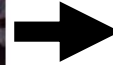
Turbinas Francis – UHE Itaipú



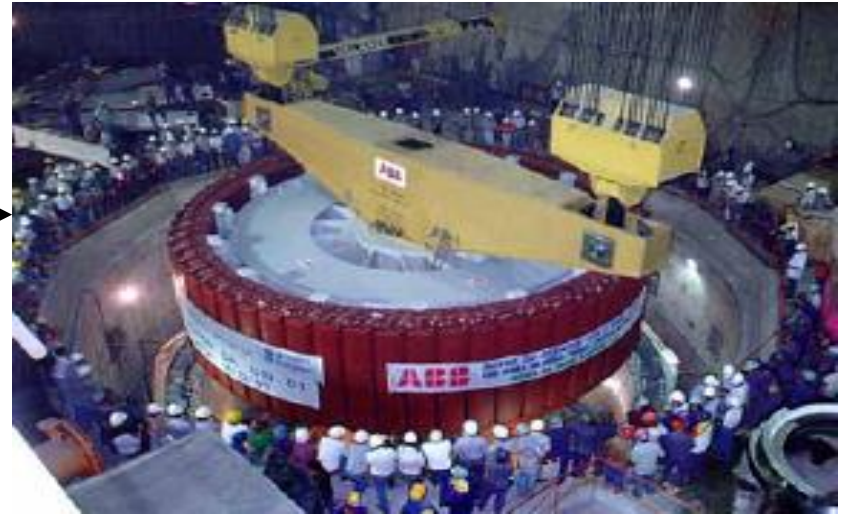
Turbina Pelton – UHE Henry Borden



Turbina



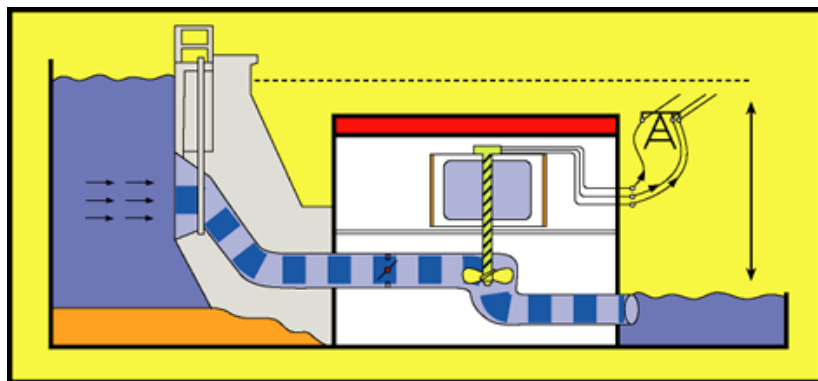
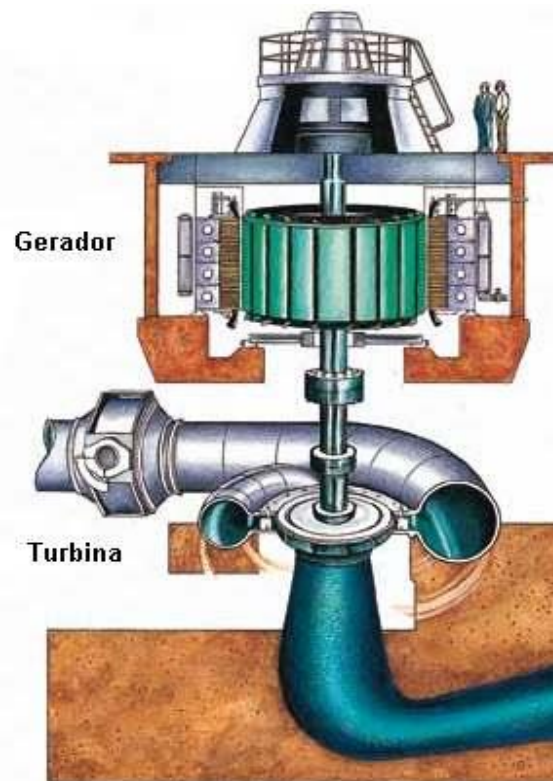
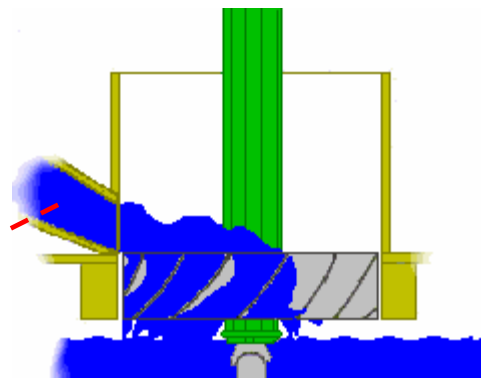
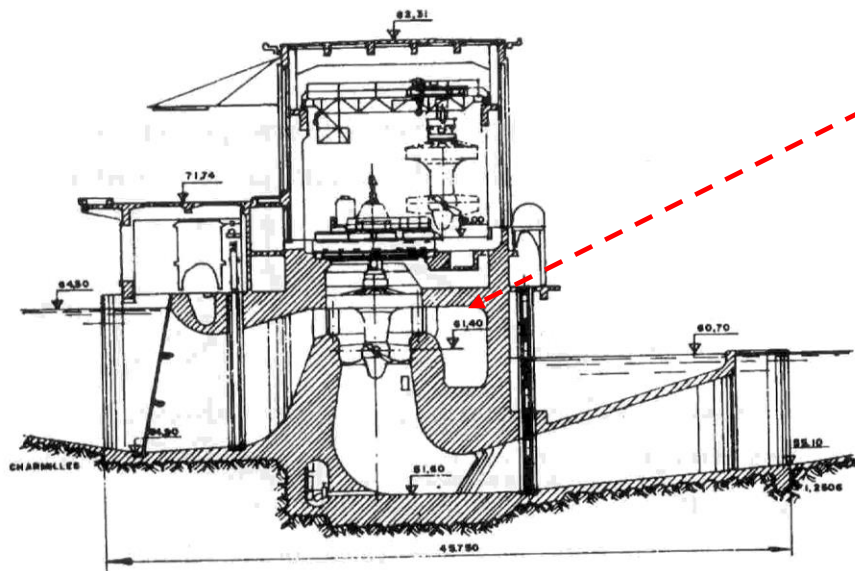
Acoplamento do gerador na turbina



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

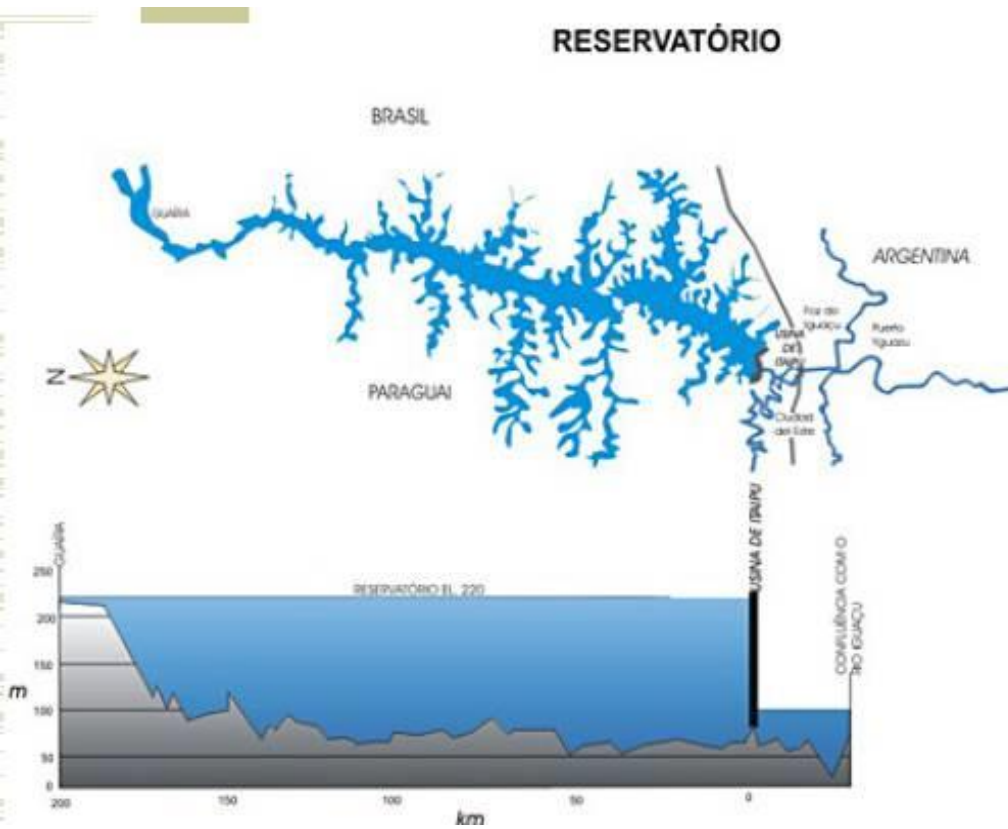


Queda de 89,23 m, vazão de projeto 6,75 m³/s
turbinas Francis de 3 640 kW e 1 740 kW

□ Tipos de centrais hidrelétricas

□ Quanto ao uso das vazões naturais

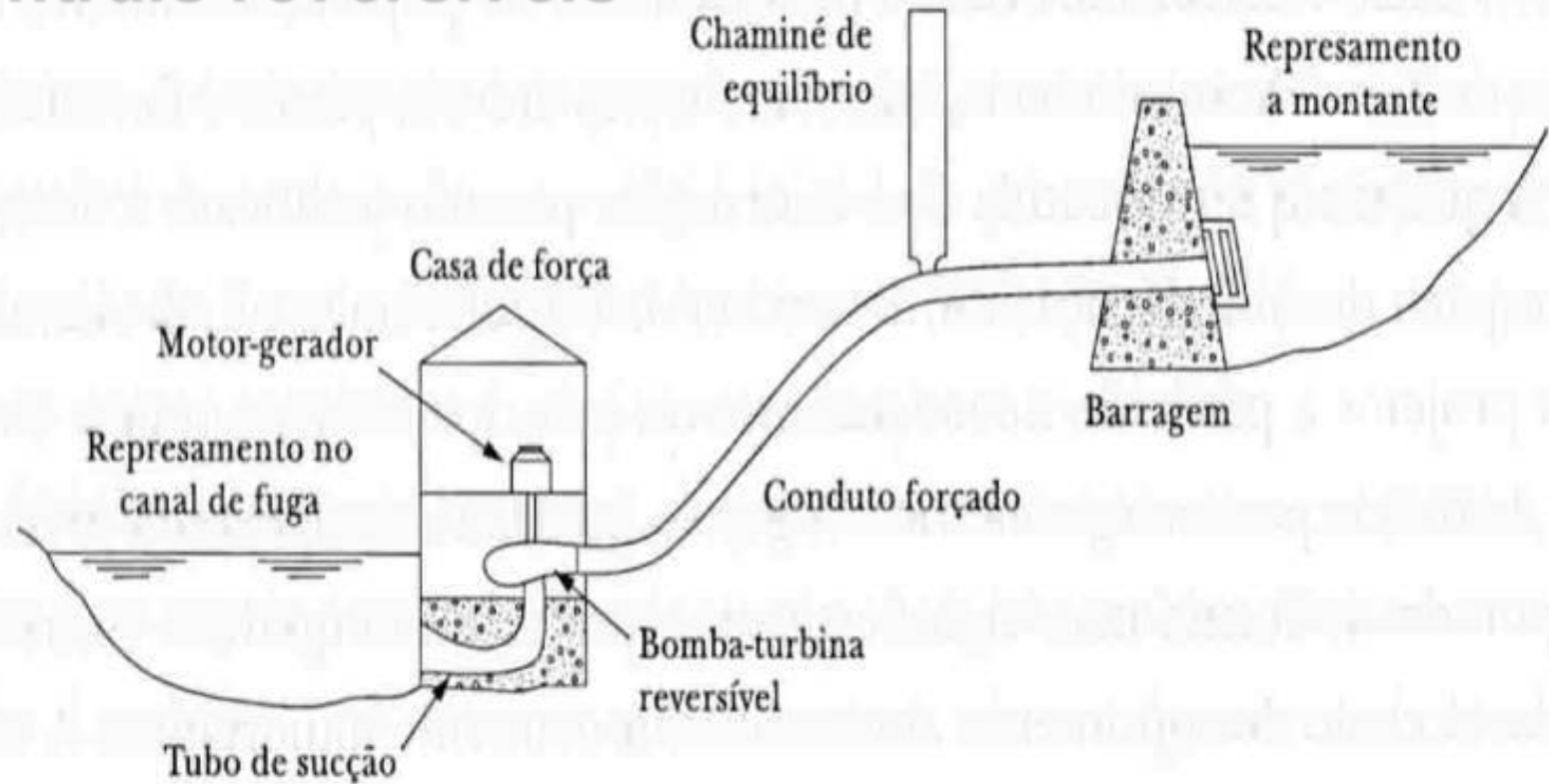
2- Centrais de acumulação



□ 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 $\geq P \geq 100\,000 \text{ kW}$

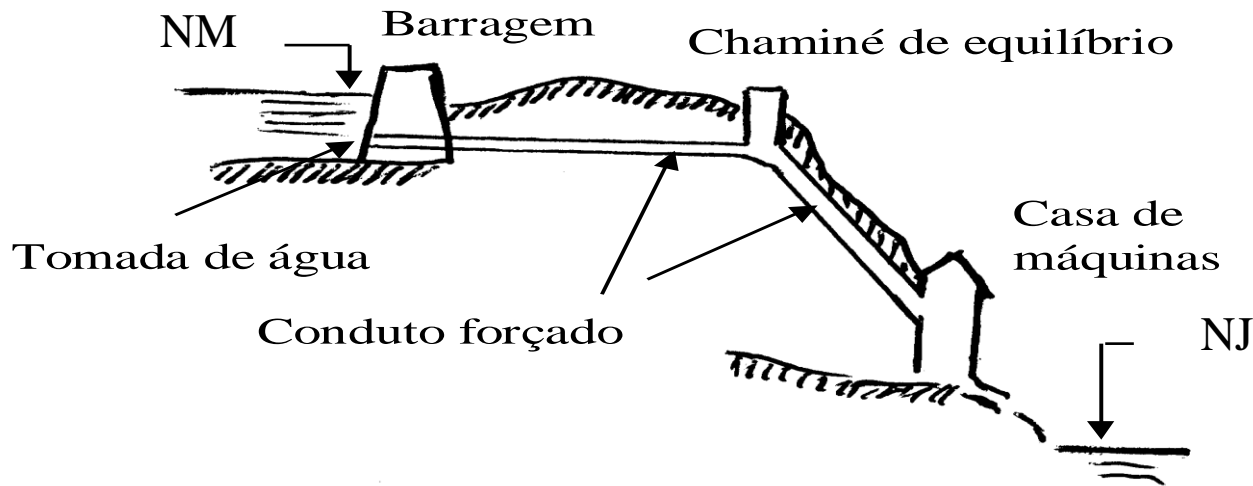
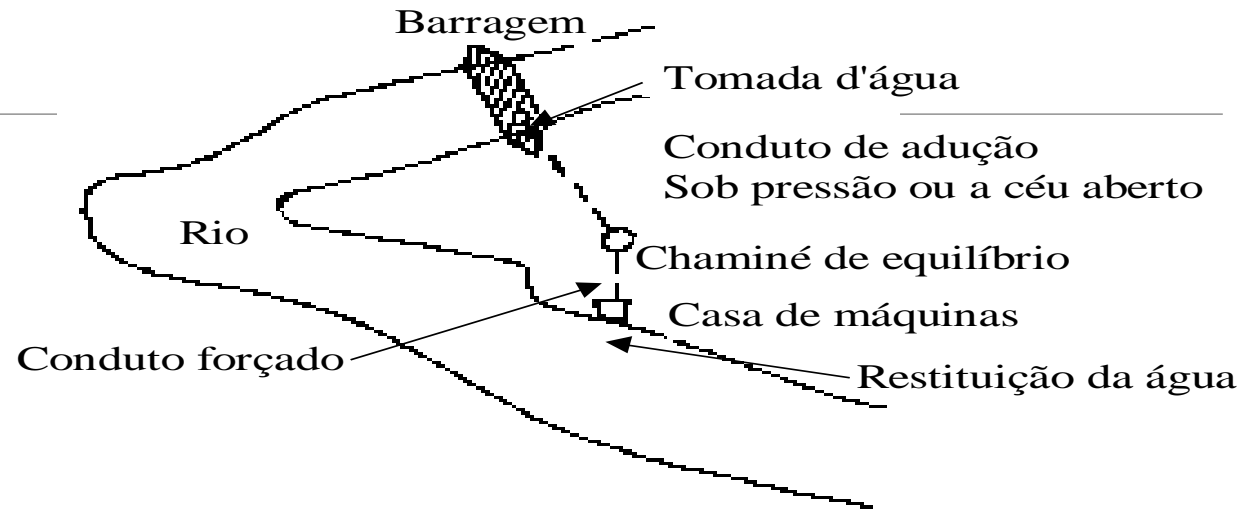
□ *Quanto à altura de queda d'água*

- 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



As 20 maiores Usinas Hidrelétricas no Brasil (dez/2015)

Nº	Nome	Indicador (Capacidade/Área alagada – MW/km ²)	Capacidade (GW)	Área alagada (km ²)	Rio
1	Tucuruí I e II	2,82	8,54	3.024	Tocantins
2	Itaipu (parte brasileira)	5,19	7	1.350	Paraná
3	Ilha solteira	1,76	3,44	1.955	Paraná
4	Xingó	52,67	3,16	60	São Francisco
5	Jirau	163,53	2,78	17	São Francisco
6	Santo Antônio	9,23	2,5	271	Madeira
7	Paulo Afonso IV	3,09	2,46	797	Paranaíba
8	Itumbiara	3,13	2,08	665	Paranaíba
9	São Simão	12,04	1,71	142	Iguaçu
10	Gov. Bento Munhoz RN	5,14	1,68	327	Paraná

As 20 maiores Usinas Hidrelétricas no Brasil (dez/2015)

Nº	Nome	Indicador (Capacidade/Área alagada – MW/km ²)	Capacidade (GW)	Área alagada (km ²)	Rio
11	Jupiá	0,81	1,55	1.915	Paraná
12	Porto Primavera	5,08	1,54	303	Madeira
13	Luiz Gonzaga (Itaparica)	1,81	1,48	816	São Francisco
14	Itá	10,28	1,45	141	Uruguai
15	Marimbondo	3,37	1,44	427	Grande
16	Salto Santiago	6,83	1,42	208	Iguaçu
17	Água Vermelha	2,17	1,4	644	Grande
18	Serra da Mesa	0,72	1,28	1.784	Tocantins
19	Gov. Ney Aminthas BB	15,56	1,26	81	Iguaçu
20	Gov. José Richa	8,79	1,24	141	Iguaçu
*	Balbina	0,12	0,275	2360	Uatumã

Impactos das Usinas Hidrelétricas

- a) A fonte hídrica é renovável.
- b) Aumento da densidade populacional local: criação de infraestrutura e crescimento econômico local.
- c) Perda de recursos culturais históricos: santuários, artefatos, construções antigas, sítios arqueológicos etc.
- d) Alteração na temperatura e composição química da água: impactos no ciclo de vida aquática.
- e) Tipo de geração de energia rápida e flexível, capaz de atender demandas de pico, manter os níveis de tensão do sistema e reestabelecer rápido o fornecimento após um blecaute.
- f) Mudança na velocidade do rio (águas rápidas para lentas): substituição ou extinção de espécies aquáticas.
- g) Flexibilidade operacional devido aos reservatórios de acumulação.
- h) Múltiplo uso dos reservatórios: consumo de água, irrigação, lazer, turismo.

Impactos das Usinas Hidrelétricas

- i) Substituição da geração de energia a partir de combustíveis fósseis: redução de chuva ácida e emissão de poluentes.
- j) Prejuízo à navegabilidade nos rios.
- k) Locais de instalação podem se transformar em centros de referência:
 - Desenvolvimento de tecnologias;
 - Formação de mão-de-obra qualificada;
 - Desenvolvimento de estudos de preservação de flora e fauna;
 - Implementação de programas de educação ambiental;
 - Desenvolvimento de turismo de lazer e ambiental.
- l) Priorização de uso da água do reservatório para geração de energia, dificultando o múltiplo uso da água.

Impactos das Usinas Hidrelétricas

- m) Montagem de canteiro de obras encarece o preço dos materiais de construção na localidade, prejudicando os moradores.
- n) Aumento rápido da população:
 - Acréscimo de lixo e esgoto sanitário;
 - Modificação de trânsito local e danificação das vias públicas por veículos pesados;
 - Aumento da violência e problemas com álcool e drogas;
 - Aumento da prostituição, gravidez na adolescência e disseminação de DST;
 - Desvio do curso do rio e inundação de áreas para formação de reservatório: impacto na flora e fauna.
 - Interferência no micro clima local: temperatura, umidade do ar, evaporação e ciclo pluvial.

Impactos das Usinas Hidrelétricas

- o) Estratégicas para segurança energética.
- p) Pressão do peso da água represada pode provocar deslocamentos de terra: prejudica aquíferos e pode causar sismos induzidos.
- q) Erosão e perda de solo e árvores a montante.
- r) Investimentos de longo prazo: vida útil de 50 a 100 anos.
- s) Emissão de gases de efeito estufa devido a decomposição de matéria orgânica no reservatório.
- t) Excesso de nutrientes na água: aumento de algas e microrganismos decompositores, podendo causar morte de peixes.
- u) Tecnologia conhecida e segura há mais de 100 anos.
- v) Proliferação de insetos, caramujos e vetores prejudiciais à saúde dos moradores.

Impactos das Usinas Hidrelétricas

- w) Deslocamento forçado da população local, geralmente agricultores, pescadores ou tribos indígenas que realizam caça e pesca.
- x) Menor emissão de gases de efeito estufa comparada a fontes não renováveis.
- y) Fonte hídrica não está sujeita a flutuações de mercado.