

UTPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
Câmpus Ponta Grossa

G.T.D. 1

Prof. MSc Jeferson José Gomes

Universidade Tecnológica rumo aos 10 anos

UTPR

UTPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
Câmpus Ponta Grossa

GTD 1

GERAÇÃO HIDRELÉTRICA

UTPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
Câmpus Ponta Grossa

CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

Em uma central hidrelétrica, a água aciona uma turbina hidráulica que movimenta o rotor de um gerador elétrico para produção de energia elétrica. A sua vazão (m^3/s), pode ser totalmente liberada pelo aproveitamento ou liberada apenas em parte.

A turbina hidráulica transforma a energia hidráulica em mecânica. O movimento da água faz girar um eixo mecânico.

UTPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
Câmpus Ponta Grossa

CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

O gerador elétrico tem seu rotor acionado por acoplamento mecânico com a turbina e transforma energia mecânica em elétrica devido às interações eletromagnéticas ocorridas em seu interior. São usados geradores síncronos, porque os sistemas de potência devem operar com frequência fixa. Para controlar a potência elétrica do conjunto, são usados reguladores:

- De tensão**, controlam a tensão nos terminais do gerador, atuando na tensão aplicada (e, portanto, na corrente) no enrolamento do rotor (enrolamento de excitação).
- De velocidade**, que controlam a frequência através da variação de potência, atuando na válvula de entrada de água da turbina.

UTPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
Câmpus Ponta Grossa

CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

Nível a montante
Barragem
Chaminé de equilíbrio
Tomada da água
Casa de máquinas
Conduto forçado
Nível a jusante
Central hidrelétrica em desvio

UTPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
Câmpus Ponta Grossa

CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

Tomada da água
Subestação
Chaminé
Galeria de restituição
Corte
Central hidrelétrica em barramento
Fonte: Souza et al. (1983).

UTFPR CENTRAIS HIDRELÉTRICAS UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ Câmpus Ponta Grossa
ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

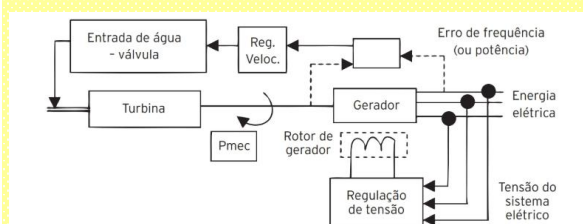


Diagrama geral de uma hidrelétrica e dos sistemas de regulação de tensão e velocidade

UTFPR CENTRAIS HIDRELÉTRICAS UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ Câmpus Ponta Grossa
ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

Principais componentes da CH



As barragens têm como principais finalidades:

- Represar a água para captação e desvio.
- Elevar o nível d'água para aproveitamento elétrico e navegação.
- Represar a água para regularização de vazões e amortecimento de ondas de enchentes.

A escolha do tipo de barragem é um problema tanto de viabilidade técnica quanto de custo.

UTFPR CENTRAIS HIDRELÉTRICAS UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ Câmpus Ponta Grossa
ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

Principais componentes da CH

Há diferentes tipos de barragens:

- de gravidade,
- em arco e,
- de gravidade em arco

A avaliação e escolha são efetuadas através de considerações técnicas e econômicas, afeitas principalmente à engenharia civil.

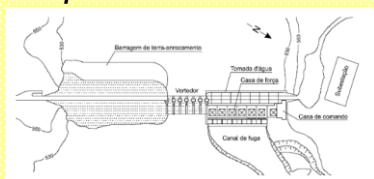


UTFPR CENTRAIS HIDRELÉTRICAS UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ Câmpus Ponta Grossa
ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES



UTFPR CENTRAIS HIDRELÉTRICAS UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ Câmpus Ponta Grossa
ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

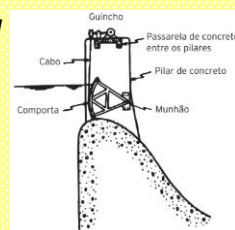
Principais componentes da CH



Vertedouros ou **extravadores** efetuam a descarga das águas excedentes dos reservatórios sem ocasionar danos à barragem e às outras estruturas hidráulicas adjacentes.

UTFPR CENTRAIS HIDRELÉTRICAS UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ Câmpus Ponta Grossa
ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

Principais componentes da CH



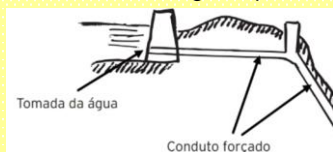
As **comportas** permitem isolar a água do sistema final de produção da energia elétrica, tornando possíveis, por exemplo, trabalhos de manutenção.

UTFPR CENTRAIS HIDRELÉTRICAS UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ Câmpus Ponta Grossa
ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

Principais componentes da CH

A **tomada de água** tem por principal função permitir a retirada de água do reservatório e proteger a entrada do conduto de danos e obstruções.

Os **conduto forçados** são aqueles nos quais o escoamento se faz com a água a plena seção.



UTFPR CENTRAIS HIDRELÉTRICAS UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ Câmpus Ponta Grossa
ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

Principais componentes da CH



As **chaminés de equilíbrio** tem como principal função aliviar o excesso de pressões que ocorre quando o escoamento de um líquido por uma tubulação é abruptamente interrompido pelo fechamento de uma válvula.

UTFPR CENTRAIS HIDRELÉTRICAS UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ Câmpus Ponta Grossa
ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

Principais componentes da CH

As **casas de força** são os locais de instalação de turbinas hidráulicas, geradores elétricos, painéis, reguladores e outros equipamentos do sistema elétrico da geração.

A determinação da **turbina** mais apropriada a cada tipo de aproveitamento influencia o arranjo da casa de força.

UTFPR CENTRAIS HIDRELÉTRICAS UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ Câmpus Ponta Grossa
ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

Turbinas Hidráulicas

A escolha da turbina envolve estudos bastante especializados e exigem grande participação de equipes de engenharia hidráulica e mecânica.

As turbinas são projetadas para atender a valores pré-fixados da descarga, da queda disponível e do número de rotações.

UTFPR CENTRAIS HIDRELÉTRICAS UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ Câmpus Ponta Grossa
ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

Turbinas Hidráulicas

Os principais tipos de turbina são as Pelton, Francis e Hélice (Kaplan). As grandezas que caracterizam o funcionamento de uma turbina são:

- queda d'água disponível ($H - m$)
- vazão ($Q - m^3/s$)
- Velocidade de rotação ($n - rpm$)
- Momento resistente útil ($M - kgf.m$)
- Potência útil ($N - cv$)
- Rendimento total (η)
- Abertura do aparelho de admissão da água (a)

UTFPR CENTRAIS HIDRELÉTRICAS UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ Câmpus Ponta Grossa
ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

Turbinas Hidráulicas

Essas grandezas não são independentes, pois a potência útil é dada por:

$$N = \frac{1000QH\eta}{75} = \frac{\pi Mn}{2250}$$

Relacionando os dois lados da equação, tem-se:

$$\eta = \frac{\pi Mn}{30000QH}$$

UTFPR CENTRAIS HIDRELÉTRICAS Câmpus Ponta Grossa

ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

Turbinas Hidráulicas: A figura reproduz uma visão das faixas de aplicação dos diversos tipos de turbina, em função da queda e da rotação específica, variável usada para caracterização das turbinas. Rotação específica:

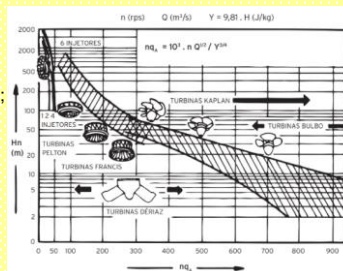
$$nq = 10^3 \cdot n N x \frac{Q^2}{(gH)^3}$$

N rotação da turbina em rps;

Q a vazão (m³/s);

H a queda (m);

G – gravidade (m²/s);



UTFPR CENTRAIS HIDRELÉTRICAS Câmpus Ponta Grossa

ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

Turbinas Hidráulicas

TURBINA	ALTURA	VAZÃO
Pelton	grande	pequena
Kaplan	pequena	grande
Francis	média	média

UTFPR CENTRAIS HIDRELÉTRICAS Câmpus Ponta Grossa

ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

Tipos de CH

Quanto ao uso das vazões naturais

A **fio d'água**, embora possa ter grande reservatório de acumulação, não é utilizada para armazenamento de água e, portanto não atua no sentido de regularizar as vazões. Utiliza somente a vazão natural do curso d' água.

Com **reservatório de acumulação** tem um reservatório de tamanho suficiente para acumular água na época das cheias para uso na época de estiagem, dispondo de uma vazão firme maior do que a vazão mínima natural.

UTFPR CENTRAIS HIDRELÉTRICAS Câmpus Ponta Grossa

ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

Tipos de CH

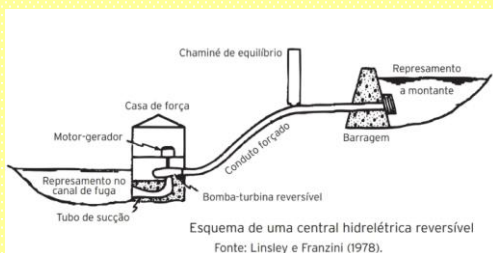
Quanto ao uso das vazões naturais

A usina **reversível** é usada para gerar energia para satisfazer à carga máxima, porém, durante as horas de demanda reduzida, a água é bombeada de um represamento no canal de fuga para um reservatório a montante para posterior utilização. Essas usinas servem para aumentar o fator de carga de outras usinas do sistema e proporcionam potência suplementar para atender às demandas máximas.

UTFPR CENTRAIS HIDRELÉTRICAS Câmpus Ponta Grossa

ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

Tipos de CH



UTFPR CENTRAIS HIDRELÉTRICAS Câmpus Ponta Grossa

ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

Tipos de CH

Quanto à potência gerada:

- a) micro $P \leq 100$ kW
- b) mini $100 < P \leq 1.000$ kW
- c) pequenas $1.000 < P \leq 30.000$ kW
- d) médias $10.000 < P \leq 100.000$ kW
- e) grandes $P > 100.000$ kW

UTFPR CENTRAIS HIDRELÉTRICAS UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ Câmpus Ponta Grossa
ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

Tipos de CH

Quanto à potência gerada

As Pequenas Centrais Hidrelétricas, devido ao impacto no atendimento à cargas locais e regionais e a uma melhor adequação ambiental, têm tido a utilização incentivada em programas governamentais. Os requisitos relacionados ao licenciamento ambiental são bem mais simples que para as usinas maiores.

As mini usinas devem cumprir requisitos apenas do órgão regulador (Aneel) e as micro usinas não devem cumprir nenhum requisito com relação à Aneel.

UTFPR CENTRAIS HIDRELÉTRICAS UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ Câmpus Ponta Grossa
ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

Tipos de CH

Quanto à queda

- a) baixíssima $H < 10$ m
- b) baixa $10 < H < 50$ m
- c) média $50 < H < 250$ m
- d) alta Barragem $H < 250$ m

Quanto à forma de captação de água

- a) desvio e em derivação;
- b) leito de rio, de barramento ou de represamento.

UTFPR CENTRAIS HIDRELÉTRICAS UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ Câmpus Ponta Grossa
ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

Tipos de CH

Quanto à função no sistema

- a) operação na base (da curva de carga)
- b) operação flutuante
- c) operação na ponta (da curva de carga).

UTFPR CENTRAIS HIDRELÉTRICAS UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ Câmpus Ponta Grossa
ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

Características gerais de operação

Servem de subsídio para o planejamento de expansão de geração e para a operação adequada de sistemas de potência.

O planejamento de expansão do sistema elétrico precisa ser adaptado aos usos diversos da água.

UTFPR CENTRAIS HIDRELÉTRICAS UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ Câmpus Ponta Grossa
ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

Características gerais de operação

Ao contrário das centrais termelétricas, as hidrelétricas apresentam incertezas para o fornecimento de energia e para a capacidade de suprir a demanda na ponta, pois dependem das propriedades das vazões naturais dos rios. Para o sistema de potência brasileiro os efeitos aleatórios e estocásticos das vazões devem ser estudados com cuidado. A geração anual é limitada pela quantidade de água captada anualmente e pelo tamanho do reservatório.

UTFPR CENTRAIS HIDRELÉTRICAS UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ Câmpus Ponta Grossa
ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

Características gerais de operação

Há três maneiras básicas de melhorar a contribuição de centrais hidrelétricas nos sistemas de potência:

- a) Aumentar a potência de pico ampliando a capacidade instalada em centrais já existentes.
- b) Aumentar a produção total de energia ampliando a vazão através do gerenciamento de recursos hídricos
aumentar a capacidade de armazenamento do reservatório, ampliando a altura das barragens já existentes.
- c) Construir, a longo prazo, novas centrais hidrelétricas, considerando a possibilidade de expansão do parque gerador.

UTFPR CENTRAIS HIDRELÉTRICAS UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ Câmpus Ponta Grossa
ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

Características gerais de operação

Para construção e operação de várias centrais hidrelétricas num mesmo rio, é necessário levar em conta o planejamento integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica.

Um dos benefícios do planejamento e da operação em cascata eficientes é o fato de que as centrais a montante aumentam a energia firme das centrais a jusante, pois podem aumentar o nível mínimo de água dos reservatórios destas últimas.

UTFPR CENTRAIS HIDRELÉTRICAS UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ Câmpus Ponta Grossa
ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

Características gerais de operação

Os problemas envolvidos na implantação de CH são interdisciplinares, esse conhecimento produzido no processo também está relacionado a vários ramos das ciências. As PCHs, por serem de menor porte, têm como principal vantagem, em relação às outras usinas, uma maior simplicidade na concepção e operação. Logo, as etapas de projeto e implantação desse tipo de central são mais simples.

UTFPR CENTRAIS HIDRELÉTRICAS UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ Câmpus Ponta Grossa
ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

Características gerais de operação

As grandes UHEs caracterizam-se por:

- Providenciar não só reserva girante para situações de emergência ocorridas no sistema, mas também condições de suprir o pico de demanda.
- Apresentar altas economias de escala: em particular, para instalações com grandes reservatórios, o custo marginal de capacidade adicional de geração tende a ser irrisório.
- Possuir grande energia firme.
- Apresentar maiores problemas ambientais.

UTFPR CENTRAIS HIDRELÉTRICAS UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ Câmpus Ponta Grossa
ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

Características gerais de operação

As principais características das PCHs são:

- possuir rápida entrada no sistema de potência e flexibilidade para mudar rapidamente a quantidade de energia fornecida ao sistema devido às mudanças na demanda. Usinas com essa característica são úteis para aumentar o rendimento e melhorar o desempenho de um sistema elétrico interligado.
- Apresentar baixos custos de operação e manutenção.
- Apresentar características mais suaves (soft) de inserção ambiental.

UTFPR CENTRAIS HIDRELÉTRICAS UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ Câmpus Ponta Grossa
ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

Características gerais de operação

A operação de uma PCH em um sistema isolado, precisa garantir ao seu mercado consumidor dois requisitos básicos: **permanência** de potência adequada à curva de carga e **energia** firme. Entende-se por energia firme (ou garantida) a energia disponível com segurança predeterminada que garante ao produtor ter um contrato para fornecer energia. Convém notar que o mercado demanda energia garantida.

UTFPR CENTRAIS HIDRELÉTRICAS UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ Câmpus Ponta Grossa
ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

Recapacitação

Um aspecto importante no caso das centrais hidrelétricas é a possibilidade de recapacitação de usinas antigas, já próximas ou até mesmo além do fim de sua vida útil de projeto. Alguns benefícios:

- a) Repotenciação:** aumento da potência de saída e/ou do valor da eficiência da turbina e do gerador.
- Beneficiamento marginal: através de modificações limitadas, pode-se atingir uma sobrepotência de até 15%.
 - Beneficiamento substancial: mediante modificações, tais como substituição de componentes vitais da turbina, pode-se chegar, em alguns casos, a uma sobrepotência de até 50%.

ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

Recapacitação

- b) **tempo de parada:** redução do tempo de parada para manutenção, preditiva e não preditiva.
- c) **sobrevida:** aumento da vida útil dos equipamentos principais da usina.
- d) **Disponibilidade:** redução de problemas com vibração e cavitação, além de redução de problemas mecânicos que poderiam resultar numa falha catastrófica.

ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

Quais os tipos de turbinas utilizadas nos projetos das usinas de Santo Antônio e Jirau, no Rio Madeira, na Amazônia brasileira?

Por qual motivo?

Como opera a usina de Itaipu?