

# G.T.D. 1

Prof. MSc Jeferson José Gomes

Universidade Tecnológica rumo aos 100 anos



# GTD 1

## GERAÇÃO HIDRELÉTRICA

**ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES*****Hidrelétricas operando com Rotação Ajustável***

As usinas hidrelétricas devem gerar energia adequada com níveis de tensão e valores de frequência bem determinados. A necessidade de um valor fixo de frequência impõe que as turbinas hidráulicas, acopladas ao eixos dos geradores, operem em rotação fixa.

**ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES*****Hidrelétricas operando com Rotação Ajustável***

Essa necessidade de operar com rotação fixa, as características naturais de uma turbina e as variações das condições elétricas e hidráulicas ao longo do tempo de operação de uma usina podem resultar numa redução da eficiência por longos períodos.

**ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES*****Hidrelétricas operando com Rotação Ajustável***

Uma turbina hidráulica é projetada para operar sob uma certa altura de queda d'água, com rotação definida, produzindo nessas condições sua potência nominal. Variações na altura de queda ou no regime de vazões (sazonalidade), também são levadas em consideração no projeto da turbina quando se busca maximizar a energia gerada.

**ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES*****Hidrelétricas operando com Rotação Ajustável***

Muitas vezes, os engenheiros projetistas de turbinas alegam que a necessidade de operação em rotação fixa impõe limitações e até dificuldades (em alguns casos) para o projeto e operação de uma turbina.

Quando uma turbina encontra-se em operação, apenas a rotação deve manter-se invariável.

**ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES*****Hidrelétricas operando com Rotação Ajustável***

Do ponto de vista tecnológico, a evolução da **eletrônica de potência** nas últimas décadas viabiliza, hoje, a produção de dispositivos e equipamentos capazes de realizar o acoplamento entre subsistemas de diferentes frequências – gerador e transporte/consumidor. Tal acoplamento pode ser viabilizado por um elo de transmissão em corrente contínua (CC), por um sistema back to back, ou, ainda, por arranjos com conversores estáticos de frequência.

**ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES*****Hidrelétricas operando com Rotação Ajustável***

Perspectivas relacionadas com o desenvolvimento futuro de novos projetos de hidrelétricas e de recapacitação no Brasil, e mesmo mundialmente, indicam que a operação com rotação ajustável continua a ser uma possível alternativa a ser considerada em diversos projetos.

## ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

### ***Hidrelétricas operando com Rotação Ajustável***

A operação de uma usina hidrelétrica em regime de rotação ajustável mostra potencial de ganhos energéticos e ambientais significativos, mas a avaliação deve ser realizada caso a caso, dada a grande influência das características particulares de cada aproveitamento nos benefícios energéticos e/ou ambientais obteníveis.

## ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

### ***Hidrelétricas operando com Rotação Ajustável***

#### ***Fundamentos - A forma clássica de operação***

A necessidade de um valor fixo impõe que as turbinas hidráulicas devam operar em rotação também fixa, estabelecendo o que pode ser caracterizado por uma espécie de camisa de força ao aproveitamento desses recursos energéticos. O valor dessa rotação síncrona é dado pela expressão:

$$N = \frac{f}{p} \times 60 \quad (1)$$

Nessa expressão:

N representa a rotação síncrona do gerador em rpm;  
 f a frequência do sistema em Hz; e ,  
 p o número de pares de polo do gerador.

## ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

***Hidrelétricas operando com Rotação Ajustável***  
***Fundamentos***

Por essa razão, uma turbina hidráulica para um determinado aproveitamento é, normalmente, projetada para operar sob uma certa altura de queda d'água, com rotação definida, produzindo, nessas condições, a potência  $P_p$  correspondente à vazão  $Q_p$ , e geralmente corresponde ao maior rendimento da turbina.

## ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

***Hidrelétricas operando com Rotação Ajustável***  
***Fundamentos***

Além das variações da altura de queda d'água e vazões, a potência fornecida pela usina também varia em função de alterações de carga do sistema elétrico ou de requisitos operativos.

Assim, o ponto de operação da turbina pode afastar-se do ponto de máximo rendimento por longos períodos. Esse afastamento pode ser tanto maior quanto mais as variáveis básicas – *carregamento elétrico, altura de queda d'água e vazão* – se afastarem das condições de projeto.

## ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

### ***Hidrelétricas operando com Rotação Ajustável*** ***O conceito de operação em rotação ajustável***

Operação com rotação ajustável é um tema pouco explorado na literatura técnica específica. A adoção dessa forma de operação pode ser pensada, a princípio, em termos de pequenas e minicentrals hidrelétricas que operam isoladas dos sistemas interligados ou naqueles casos que façam uso de tecnologias que permitam desvincular a frequência de geração da frequência do sistema.

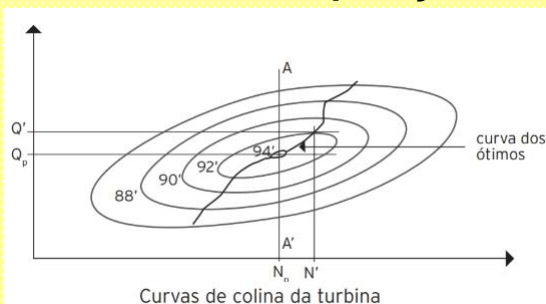
## ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

### ***Hidrelétricas operando com Rotação Ajustável*** ***O conceito de operação em rotação ajustável***

O princípio conceitual consiste em ajustar a rotação da turbina, em função das condições operativas do *momento, potência elétrica, vazão* e, principalmente, da *altura de queda d'água existente*, visando operar no ponto de maior rendimento possível.



## ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

***Hidrelétricas operando com Rotação Ajustável******O conceito de operação em rotação ajustável***

Suponha a turbina operando no ponto  $(N_p, Q_p)$ , sob o regime de rotação fixa. Esse ponto de operação corresponde à altura de queda  $H$ , relacionada com a rotação  $N$  e o diâmetro  $D$  pela expressão:  $N_{II} = \frac{N \cdot D}{\sqrt{H}}$

$N$  – rotação

$D$  – diâmetro

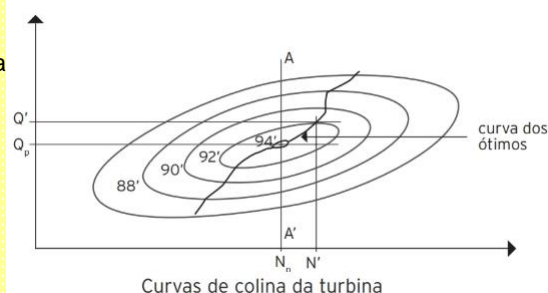
$H$  – altura da queda.

Assim, para  $N$  fixo, um dado valor de  $H$  define um segmento de reta, perpendicular ao eixo das abscissas, como o lugar geométrico dos possíveis pontos de operação, e qualquer variação de  $H$  resulta numa translação horizontal desse segmento. Qualquer variação de  $Q$ , e portanto de  $P$ , desloca o ponto de operação sobre o segmento de reta  $AA'$ , anteriormente definido.

## ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

***Hidrelétricas operando com Rotação Ajustável******O conceito de operação em rotação ajustável***

Na operação em *rotação ajustável*, pode-se quebrar a vinculação com a altura de queda disponível, através de atuação na rotação. Assim, para um dado valor de vazão disponível ou desejável, busca-se o ponto de operação que resulte em maior rendimento e só então define-se a rotação de trabalho. O novo ponto de operação passa a ser  $(N', Q')$ .



O conjunto de pontos de máximo rendimento, definido para cada valor de vazão, constitui a curva ótima de rendimento da turbina, que deve estar impressa no regulador de velocidades.

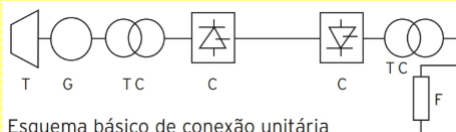


## ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

### *Rotação Ajustável - Tecnologias disponíveis*

**A conexão unitária gerador-conversora:** consiste

em conectar diretamente o gerador síncrono ou assíncrono à ponte conversora CA-CC, sem a



Esquema básico de conexão unitária

necessidade de um estágio de transformação anterior.

O barramento CA foi eliminado, conectando-se diretamente o conjunto turbina-gerador ao transformador conversor. Assim, no terminal retificador, podem ser dispensados os filtros CA, os elementos de chaveamento CA e os dispositivos de proteção associados, o transformador elevador e o disjuntor do gerador, elementos presentes na configuração convencional.

## ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

### *Rotação Ajustável - Tecnologias disponíveis*

**A conexão unitária gerador-conversora:**

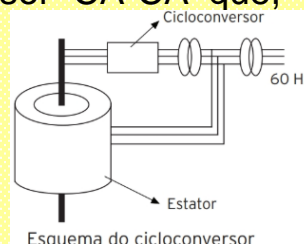
A representação anterior indica apenas as simplificações impostas a esquemas básicos, visto que, para grandes aproveitamentos, há necessidade de compatibilizar o número de unidades geradoras com o nível de tensão escolhido para transmissão, o que pode propiciar arranjos mais complexos.

Esse esquema pode ser usado tanto para linhas em corrente contínua a longa distância como também para sistema sem linha CC. Nesse caso, seria usado o esquema back to back, com retificador e inversor localizados lado a lado e conexão à rede via linha CA.

## ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

### *Rotação Ajustável - Tecnologias disponíveis*

**O ciclo conversor:** é um conversor CA-CA que, acoplado por meio de anéis ao rotor bobinado da máquina assíncrona, alimenta-o com tensão na frequência equivalente à diferença entre a rotação síncrona e a rotação mecânica do rotor. Utilizada principalmente em usinas reversíveis, atingindo até centenas de MW. Uma vantagem do cicloconversor em relação à conexão unitária pode estar no dimensionamento de sua capacidade, que deve ser equivalente à potência de escorregamento da máquina.



## ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES

### *Hidrelétricas operando com Rotação Ajustável*

Os resultados da pesquisa mostram que ganhos significativos em eficiência energética podem ser obtidos da operação em rotação ajustável de usinas hidrelétricas. Essa eficiência pode ser revertida numa diminuição do nível máximo do reservatório da hidrelétrica, resultando numa diminuição da área alagada com consequente diminuição do impacto ambiental do empreendimento. Uma ponderação entre os ganhos e os benefícios obtidos deve ser estudada durante a análise do projeto.

Os resultados mostram também que as perspectivas de benefícios são extremamente dependentes das características específicas de cada projeto e, usualmente, quanto maior o desnível d'água, maiores os benefícios.

**ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES*****Aspectos básicos para inserção no meio ambiente***

Para orientar um projeto rumo ao desenvolvimento sustentável, será necessário alterar o paradigma atual de desenvolvimento e integrar a análise técnica e econômica a uma avaliação global que considere os benefícios e impactos sociais e ambientais que os projetos sob análise irão causar nas comunidades afetadas. Devem-se abordar os problemas de uma forma multidisciplinar e holística, procurando sempre atingir um conjunto de objetivos que atenda um número cada vez maior de interesses.

**ESQUEMAS, PRINCIPAIS TIPOS E CONFIGURAÇÕES*****Aspectos básicos para inserção no meio ambiente***

Na engenharia de recursos hídricos, é fundamental ter em mente diversos aspectos de importância:

- o inter-relacionamento entre a poluição do ar, da água e dos resíduos sólidos;
- a influência do abastecimento de água na concentração e dispersão da população;
- correlações entre sistemas de abastecimento de água e sistemas de produção de energia hidrelétrica.