

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS E O PROGRAMA  
DE PCHs DO BRASIL**

**MATHIAS MAMEDE BORGES**

São Carlos, 2015

**MATHIAS MAMEDE BORGES**

**PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS E O PROGRAMA  
DE PCHs DO BRASIL**

Trabalho de conclusão de Curso apresentado à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo; para conclusão do curso de Graduação em Engenharia Elétrica com Ênfase em Sistemas de Energia e Automação.

**Orientador: Prof. Assoc. Frederico Fábio Mauad**

São Carlos, 2015.

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA TRABALHO,  
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS  
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

M264p Mamede, Mathias Mamede Borges  
Pequenas centrais hidrelétricas e o programa de  
PCHs do Brasil / Mathias Mamede Borges Mamede;  
orientador Frederico Fábio Mauad Mauad. São Carlos,  
2015.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com  
ênfase em Sistemas de Energia e Automação) -- Escola de  
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,  
2015.

1. PCHs. 2. PROINFA. 3. ANEEL. I. Título.

# FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Mathias Mamede Borges

Título: "Pequenas centrais hidrelétricas e o programa de PCHs do Brasil"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado

em 01/12/15,

com NOTA 9,0 (nove), pela Comissão Julgadora:

*Prof. Associado Frederico Fábio Mauad - (Orientador - SHS/EESC/USP)*

*Prof. Assistente Carlos Goldenberg - (SEL/EESC/USP)*

*Prof. Associado Luiz Gonçalves Neto - (SEL/EESC/USP)*

Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:  
Prof. Dr. José Carlos de Melo Vieira Júnior

## **Dedicatória**

Dedico este trabalho a toda minha família, pelo amor e carinho que sempre tiveram comigo.

## **Resumo**

BORGES, Mathias Mamede Borges Fontes. Pequenas Centrais Hidrelétricas e o Programa de PCHs do Brasil. São Carlos: Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade de São Paulo, 2015. 82 pág. Dissertação (Trabalho de Graduação).

Este trabalho de graduação aborda as centrais hidrelétricas de porte pequeno, hoje conhecidas como Pequenas Centrais Hidrelétricas. No início, é mostrado uma visão pequena do histórico do setor elétrico brasileiro, e de como as centrais hidrelétricas, tanto as de grande porte como as de pequeno porte, se fizeram de grande importância para o seu desenvolvimento no Brasil. É apresentado também como funciona o processo de construção de uma PCH, o maquinário eletro-mecânico, a obra civil e os arranjos utilizados nas usinas. Na confecção deste trabalho, foi feita uma visita técnica a PCH Salto Grande, em Campinas-SP. No segundo capítulo é realizado um relatório dessa visita. Logo após, foi feita uma explicação do que é uma Pequena Central Hidroelétrica segundo a definição do PROINFA, um programa do Ministério de Minas e Energia que propõe aumentar a participação das fontes alternativas de energia no Brasil, e como ele afetou a construção de PCHs nova no país. Finalmente é apresentada uma visão global da matriz energética atual do Brasil, bem como as estimativas de futuro quanto a participação das PCHs na matriz energética do país.

### *Palavras Chave*

Usinas Hidrelétricas; PROINFA; PCHs; Geração Distribuída; Barragens.

## LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 – Usina em Appleton, EUA, Primeira Usina Hidrelétrica do Mundo (Fonte: Américas Library).....	1
Figura 2 – Usina de Marmelos-Zero, em Juiz de Fora, MG (Fonte: Prefeitura de Juiz de Fora).....	2
Figura 3 – Usina Hidrelétrica de Itaipu (Fonte: Itaipu Binacional).....	3
Figura 4 – Fluxograma de Implementação de uma PCH (Fonte: Eletrobrás).....	6
Figura 5 – Esboço de uma Construção de uma PCH com queda Natural Localizada (Fonte: European Comission, 2001).....	7
Figura 6 – Fotografia de Satélite da PCH Salto Grande, onde a água é levada pelo canal de adução ( pressão baixa) até os condutos forçados (pressão alta) e depois à casa de força (Fonte: Google).....	8
Figura 7 – Esboço de construção de uma PCH sem Queda Natural Localizada (Fonte: European Comission,2001).....	9
Figura 8 – Turbina, Gerador Síncrono, Volante de Inércia e Excitatriz de uma PCH (Fonte: Acervo GE).....	12
Figura 9 – Faixa de Operação dos tipos de Turbina Hidráulica (Fonte: HACKER, 2015).....	13
Figura 10 – Turbina Kaplan (Fonte: Zeco-Turbines).....	14
Figura 11 – Turbina Francis (Fonte: Voith Siemens).....	15
Figura 12 – Turbina Pelton (Fonte:Voith Siemens).....	16
Figura 13 – Turbina Bulbo (Fonte: Hitachi).....	16
Figura 14 – Barragem vista da margem leste do Rio Atibaia (Foto do autor).....	24
Figura 15 – Vista da Montante do Rio Atibaia (Foto do autor).....	24
Figura 16 – Vista da Jusante do Rio Atibaia (Foto do autor).....	25
Figura 17 – Escada para peixes (Foto do autor).....	25
Figura 18 – Início da tomada de água (Foto do autor).....	26
Figura 19 – Canal de Adução (Foto do autor).....	26
Figura 20 – Canal de Adução e comporta da Câmara de Carga(Foto do autor).....	27
Figura 21 – Superior da Câmara de Carga (Foto do autor).....	27

Figura 22 – Conduitos Forçado (Foto do autor).....	28
Figura 23 – Casa de Força (Foto do autor).....	28
Figura 24 – Painel de Controle da Usina (Foto do autor).....	29
Figura 25 – Turbinas Hidráulicas (Foto do autor).....	29
Figura 26 – Gerador, Volante de Inércia, Multiplicador Mancal e Unidade de Lubrificação (Foto do autor).....	30
Figura 27 – Saída Canal de Fuga (Foto do autor).....	30
Figura 28 – Subestação Elevadora (Foto do autor).....	31
Figura 29 – Micro Usinas Hidrelétricas (Foto do autor).....	31
Figura 30- Evolução da capacidade instalada do SIN.....	40
Figura 31 - Evolução da capacidade instalada por fonte de geração.....	40
Figura 32 - Acréscimo acumulado de capacidade instalada por fonte.....	42



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Matriz Energética (Fonte: Banco de Informações de Geração - ANEEL, 2015.....	39
Tabela 2 - Evolução da capacidade instalada por fonte de geração.....	41

## SUMÁRIO

1. Introdução: Histórico, Construção e Operação de Usinas Hidrelétricas.....	1
1.1. Histórico.....	1
1.2. Construção.....	5
1.2.1. Etapas da Implantação.....	5
1.2.2. Tipos das Estruturas e Arranjos.....	7
1.2.3. Obra Civil.....	9
1.2.4. Maquinário.....	12
1.2.5. Tipos de Usinas Hidrelétricas quanto à capacidade de Regularização.....	22
1.3. Operação.....	22
2. Relatório da Visita Técnica.....	22
2.1. PCH Salto Grande.....	22
3. Programas Institucionais e Conceitos.....	32
3.1. Definição de PCHs.....	32
3.2. PROINFA.....	32
3.3. Geração Distribuída.....	35
3.3.1. Geração Distribuída Isolada.....	36
3.3.2. Geração Distribuída Interconectada.....	36
3.4. Outros Incentivos as PCHs.....	37
4. Panorama Energético Atual e Perspectiva de Expansão.....	38
4.1. Matriz Energética Atual.....	38
4.2. Cenário Futuro.....	39
5. Conclusão.....	43
6. Referências.....	44

# 1 Introdução: Histórico, Construção e Operação de Usinas Hidrelétricas

## 1.1 Histórico

A energia potencial de córregos e rios se mostra ser aproveitada desde a antiguidade, onde diversos povos utilizavam moinhos e rodas d'água para fazer a movimentação de minérios ou sementes. Para isso a água atingia as pás de grandes rodas, que costumavam ser de madeira, fazendo-as girar e conseqüentemente mover as pedras de moer. Meios equivalentes também eram usados para bombear a água em sistemas de irrigação, marcenaria ou movimentação de pequenas máquinas em fábricas do começo da revolução industrial.



Figura 1 - Usina em Appleton, EUA, Primeira Usina Hidrelétrica do Mundo (Fonte: Américas Library)

Em setembro de 1882, no rio Foz em Appleton, Winsconsin, EUA foi construída a primeira usina Hidrelétrica. Possuía um potencial instalado de 12,5 kW, que supria eletricidade para operar dois moinhos de papel. Aqui no Brasil, a primeira usina hidrelétrica foi posta em atividade em 1883, localizada no Ribeirão do Inferno, na cidade de Diamantina (MG) no afluente do rio Jequitinhonha, com 500 kW de potência<sup>1</sup>. Poucos anos depois, a usina Marmelos-Zero, em Juiz de Fora (MG) no rio Paraibuna passou a ser a primeira usina de grande porte do Brasil<sup>2</sup> com 4 MW de potência instalada.



Figura 2 - Usina de Marmelos-Zero, em Juiz de Fora, MG (Fonte: Prefeitura de Juiz de Fora)

Após 30 anos, em 1920, o potencial instalado já era de 1.044.738 kW no país, onde 85% dessa energia (884.570 kW) eram geradas em 738 hidrelétricas<sup>3</sup>. Comparadas com o padrão atual, essas usinas eram de pequeno porte, e não havendo linhas de transmissões para grandes distâncias, supriam apenas pequenas regiões, e sempre instaladas próximas aos pontos de carga.

Em 1948, uma nova política de expansão da indústria da eletricidade começou a ser adotada com apoio da iniciativa estatal. A empresa, de economia mista, Companhia Hidrelétrica do São Francisco (Chesf) teve um papel pioneiro no setor da energia elétrica. Atrás delas vieram

---

<sup>1</sup> Disponível em: <[http://www.acendebrasil.com.br/archives/files/20080819\\_DCI\\_Homem\\_Usina.pdf](http://www.acendebrasil.com.br/archives/files/20080819_DCI_Homem_Usina.pdf)> acessado em 10/06/2015

<sup>2</sup> Disponível em: <[http://pt.wikipedia.org/wiki/Usina\\_Hidreletrica\\_de\\_Marmelos](http://pt.wikipedia.org/wiki/Usina_Hidreletrica_de_Marmelos)> acessado em: 10/06/2015

<sup>3</sup> Disponível em: <<http://www.escelsa.com.br/aescelsa/historia-ee-brasil.asp>> acessado em: 10/06/2015

outras empresas com a mesma idéia em cada uma das unidades da federação: a Copel, no Paraná, Furnas na região Centro-Sul, a Cemig em Minas Gerais, por exemplo.

As usinas nesse período já eram de maior porte, mas ainda eram voltadas para atender uma região próxima da geração.

Na sequência o programa de expansão da indústria de eletricidade no Brasil teve um grande passo dado pela Eletrobrás, criada pela lei n.3890-A, de 25 de abril de 1961 e instalada em junho de 1962. Com a jurisdição do Ministério de Minas e Energia, que é responsável pela política de energia elétrica no Brasil. Faz a operação através de três subsidiárias em escopo regional: a Chesf (Companhias Hidrelétricas do São Francisco S.A.) na região Nordeste; Furnas (Furnas Centrais Elétricas S.A.) na região Sul; Eletronorte (Centrais Elétricas do Norte S.A.) na região Norte.

Com a política de desenvolvimento energético do governo militar e a criação da Eletrobrás, passou-se a dar maior importância a grandes usinas hidrelétricas, como por exemplo a de Itaipu, com potência instalada de 14.000 MW, assim as usinas de menor porte foram deixadas em segundo plano pelo estado, e em vários casos até foram desativadas, por não conseguirem arcar com os custos de operação comparadas com as de grande porte. Mesmo assim, pela iniciativa privada essas usinas de pequeno porte continuaram a ser construídas.



Figura 3 - Usina Hidrelétrica de Itaipu (Fonte: Itaipu Binacional)

Algumas mudanças começaram a ocorrer no sistema energético nos anos 90, com a privatização do setor, usando o modelo de privatização da Inglaterra, que supõe a desverticalização do setor elétrico com uma divisão em quatro setores: geração, transmissão,

distribuição e comercialização. Aflorando a competitividade na geração e na comercialização, mantendo a distribuição e a transmissão sob regulação estatal. Isso ocasionou uma grande competição no mercado de comercialização de energia, o que possibilitou a criação de leilões de venda de energia.

Outra mudança importante na época foi a criação da ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, pela Lei nº 9.247/96, que a torna responsável pela fiscalização e regulação em todos os segmentos do setor elétrico, dando maior atenção na transmissão e na distribuição por não possuir concorrência. Além disso, foi fundado o ONS (Operador Nacional do Sistema), criado pela Lei nº 9.648, com a competência de executar atividades de controle e coordenação da operação da geração e da transmissão de energia. Os objetivos principais do ONS são: atender requisitos de carga; ajustar os custos e impor a confiabilidade do sistema, definindo ainda, as condições de acesso à malha de transmissão de alta-tensão do Brasil.

Com esse modelo, o setor privado seria o responsável pelo investimento no setor elétrico. No entanto, sem um marco regulatório, planejamento e de regras bem definidas, o investimento não foi o suficiente para atender a demanda, o que causou uma grave crise de oferta de eletricidade no ano de 2001, o “apagão”, que causou aumento nas tarifas, racionamento de energia no Nordeste e campanhas de redução de consumo.

Diante desse episódio, inúmeras iniciativas foram tomadas com a intenção de elevar a geração de energia para evitar uma nova crise de oferta de eletricidade, sendo a mais relevante ao tema deste trabalho a implantação do PROINFA.

## **1.2 Construção**

### **1.2.1 Etapas da Implantação**

O projeto de implantação de uma Pequena Central Hidrelétrica se inicia com o levantamento ou garantia do potencial hidrelétrico do setor do rio que está sendo analisado. Conforme o potencial já tenha sido inventariado anteriormente, avança-se para a próxima etapa, caso contrário, um estudo de potencial hidrelétrico deverá ser realizado de acordo com a resolução nº 393, de Dezembro de 1998 da ANEEL.

Na sequência é feito um estudo sobre o potencial e a viabilidade do projeto, onde é estimado um orçamento para o projeto e também é realizado um plano preliminar. Se o projeto demonstrar ser realizável, inicia-se a etapa de projeto da central hidrelétrica.

No tema ambiental e de gerenciamento de recursos hídricos, deve-se considerar a necessidade de um tratamento adequado da questão ambiental, em prol do ambiente e também do empreendedor, tendo como consequência a obtenção, por parte do investidor, de Licenças Ambientais: Licença Prévia (LP), Licença de Instalação (LI) e Licença de Operação (LO), ao final da construção, além da outorga para a utilização da água para uso específico de geração de energia elétrica.

É feito um registro junto à ANEEL para a realização do projeto básico. Assim é feita uma série de estudos de engenharia, energéticos, hidro meteorológicos e geológicos, incluindo um estudo da implantação de uma interligação da usina à rede elétrica, ou se a usina operará em um sistema isolado.

Com todos os procedimentos comprovados, é feito um teste de equipamentos de forma individual, para checar possíveis falhas, sendo aprovada, é solicitada a Licença de Operação, que permite a operação da usina.

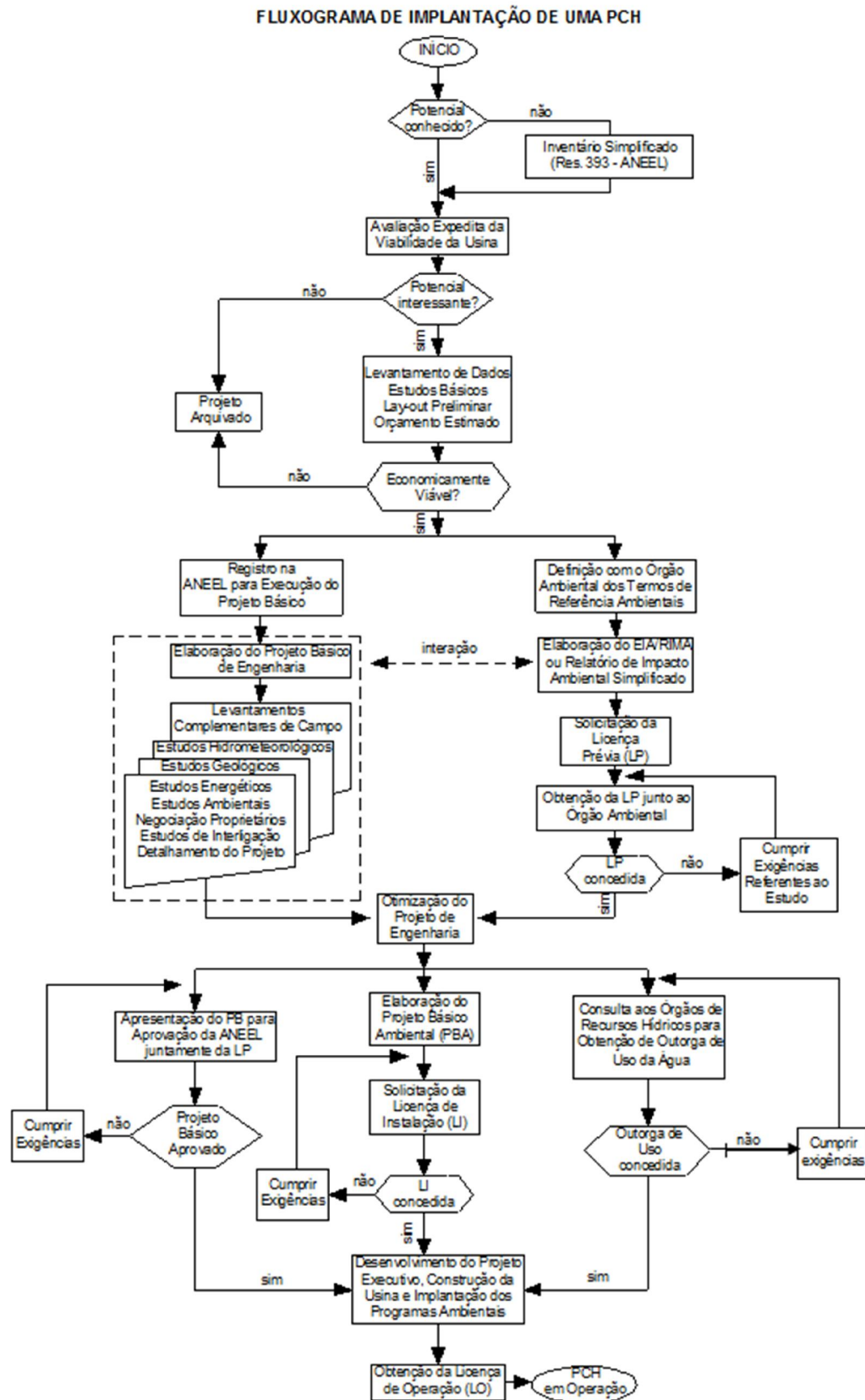


Figura 4 - Fluxograma de Implantação de uma PCH (Fonte: Eletrobrás)



## 1.2.2 Tipo das Estruturas e Arranjo

Em qualquer aproveitamento hidrelétrico, o arranjo das estruturas é condicionado pelas características topográficas, geológicas e geotécnicas do sítio. Destaca-se também os aspectos ambientais do local que são importantes na definição do arranjo geral do aproveitamento.

A seguir são descritos dois aspectos desse arranjo.

### Locais com Queda Natural Localizada

Os arranjos, nesses locais, são quase sempre contemplados por um barramento, a montante da queda, que contém o vertedouro e tomada de água. E normalmente posicionada longe do barramento, fica a casa de força.

Em uma das margens, o circuito hidráulico de adução, é constituído por dois trechos, sendo um de baixa pressão e outro de alta pressão. No trecho de baixa pressão é composto por canal ou conduto, enquanto que o trecho de alta pressão é feito de condutos forçados. A jusante dos condutos forçados ficam posicionados ao canal de fuga e a casa de força.

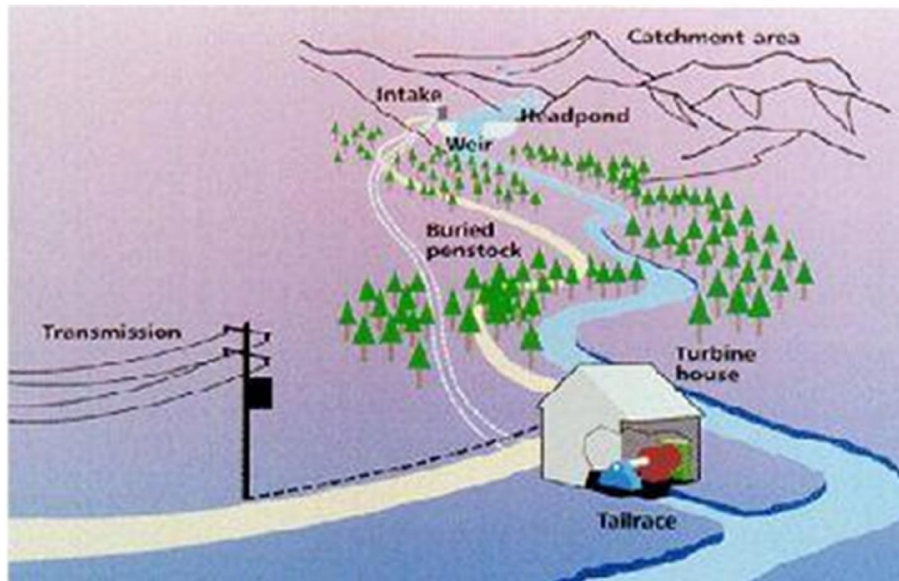


Figura 5 - Esboço de uma Construção de uma PCH com queda Natural Localizada (Fonte: European Comission, 2001)



Figura 6 - Fotografia de Satélite da PCH Salto Grande, onde a água é levada pelo canal de adução (pressão baixa) até os condutos forçados (pressão alta) e depois à casa de força (Fonte: Google)

### **Locais sem Queda Natural Local**

Em locais como esse, onde o desnível é criado pela própria barragem, se tem um arranjo compacto com as estruturas alinhadas e com a casa de força que fica no pé da barragem.

A adução é feita por uma estrutura de tomada d'água, convencional, que fica incorporada ao barramento e à casa de força.

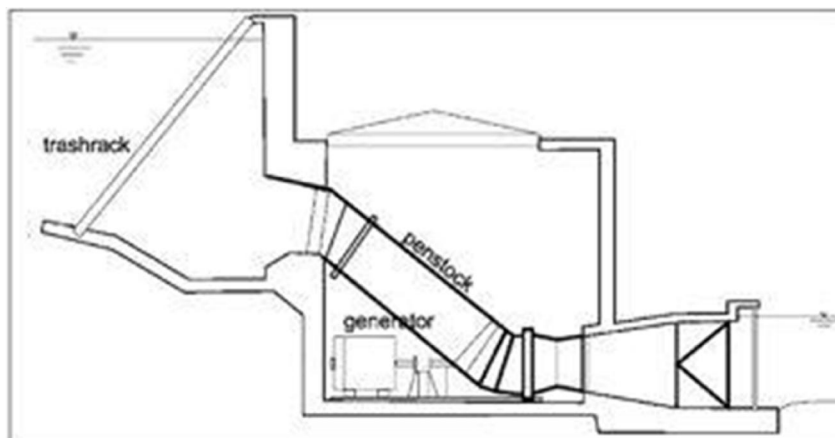


Figura 7 - Esboço de construção de uma PCH sem Queda Natural Localizada (Fonte: European Commission,2001)

### 1.2.3 Obra Civil

#### Barragens

As estruturas das barragens têm como objetivo represar a água do rio, visando, com a elevação do nível da água, possibilitar a alimentação da tomada de água, ou no caso de PCHs de acumulação, moldar um reservatório que normalize a vazão d'água em um período de seca. Em locais de baixa queda, a barragem tem a função de criar também um desnível para a produção da energia desejada. As barragens normalmente são feitas de rochas, concreto ou de terra.

#### Vertedouro

É o local por onde a água que não for turbinada passe através da barragem de forma segura, não causando danos à mesma ou aos equipamentos. Essa água pode verter naturalmente por cima da barragem.

### **Tomada d'água**

Local onde a água que alimenta as turbinas é retirada do rio. Ali existe uma grade para inibir corpos flutuantes que possam danificar as turbinas caso adentrem o canal de adução.

Essa tomada d'água necessita estar presente sempre que possível próximo à margem do reservatório ao longo de trechos retos, ou no caso de trechos curvos, deve estar localizada no lado côncavo, para evitar acumulação de sedimentos, que se depositam na parte convexa.

### **Canal de Adução**

É o canal por onde a água é movida da tomada d'água até a câmara de carga e os condutos forçados. Posicionam-se usualmente a céu aberto, mas em alguns casos essa opção não é viável, e as tubulações de baixa pressão podem ser utilizadas. Existe um pequeno desnível entre o começo e o fim do canal de adução, para que facilite o deslocamento da água.

### **Câmara de Carga**

Se posiciona entre o canal de adução e o conduto forçado, promovendo a transição entre o escoamento a superfície livre, no canal de adução, e o escoamento sob pressão no conduto forçado quando ocorre o fechamento rápido do dispositivo de controle de vazão; e libera água ao conduto forçado quando existe uma abertura brusca desse dispositivo, até que se estabeleça no canal de adução, um regime constante de escoamento.

### **Chaminé de Equilíbrio**

É um duto de eixo vertical, que tem a função de amortecer as variações de pressão, que se transmitem pelo conduto forçado, como o golpe de aríete, decorrente do fechamento imediato da turbina; e para armazenar a água para fornecer ao conduto forçado o fluxo inicial provocado pela nova abertura da turbina, até que se estabeleça o regime permanente.

### **Conduto Forçado**

Tubulação que leva a água, sob pressão, da câmara de carga até as turbinas. Usualmente são construídos em concreto ou aço, e ficam apoiados em blocos de pedra ou concreto, chamados de blocos de sustentação, e engastado nos chamados blocos de ancoragem.

Há um enorme desnível entre o começo e o fim do conduto forçado, para fornecer a queda necessária para que a água forneça energia suficiente para a turbina.

### **Casa de Força**

Onde se posiciona o maquinário da usina: Turbinas, Geradores, Painéis, Reguladores de Tensão, etc. Essa construção pode ser separada, ou incorporada ao barramento, no caso de PCHs onde o desnível é criado pela barragem. Deve-se prever uma ponte rolante para os trabalhos de montagem e desmontagem em manutenções programadas.

### **Canal de Fuga e Bacia de Dissipação**

Canal por onde a água, após passar pelas turbinas, é retornada ao rio, ficando após a casa de força, desembocando na bacia de dissipação, que é construída especialmente para dissipar a energia da água turbinada, para evitar a erosão do rio.

Bacias de dissipação também são encontradas próximo aos vertedouros, para o mesmo fim.

### 1.2.4 Maquinário Eletro-Mecânico



Figura 8 - Turbina, Gerador Síncrono, Volante de Inércia e Excitatriz de uma PCH

(Fonte: Acervo GE)

### Turbina Hidráulica

São equipamentos que transformam energia mecânica de certo fluxo de água, em potência no eixo que depois, junto a um gerador, transforma em energia elétrica. Essas turbinas são classificadas em quatro tipos: Kaplan, Pelton, Bulbo e Francis, onde cada um desses modelos são adequados para certa faixa de altura de queda.

Em todos esses modelos há alguns princípios de funcionamento comuns. A água vem pelo conduto forçado até a entrada da turbina, que passa por um sistema de palhetas guias móveis, que controlam a vazão volumétrica fornecida à turbina. No intuito de aumentar a potência as palhetas se abrem, para diminuir a potência elas se fecham. Na sequência desta etapa, a água chega ao rotor da turbina, onde a energia cinética é transferida para o rotor, na forma de torque e velocidade de rotação. Após passar pelo rotor, um duto chamado tubo de sucção

conduz a água até a parte de jusante do rio, no nível mais baixo. As turbinas hidráulicas para PCHs podem ser montadas com tanto com o eixo no sentido horizontal quanto vertical.

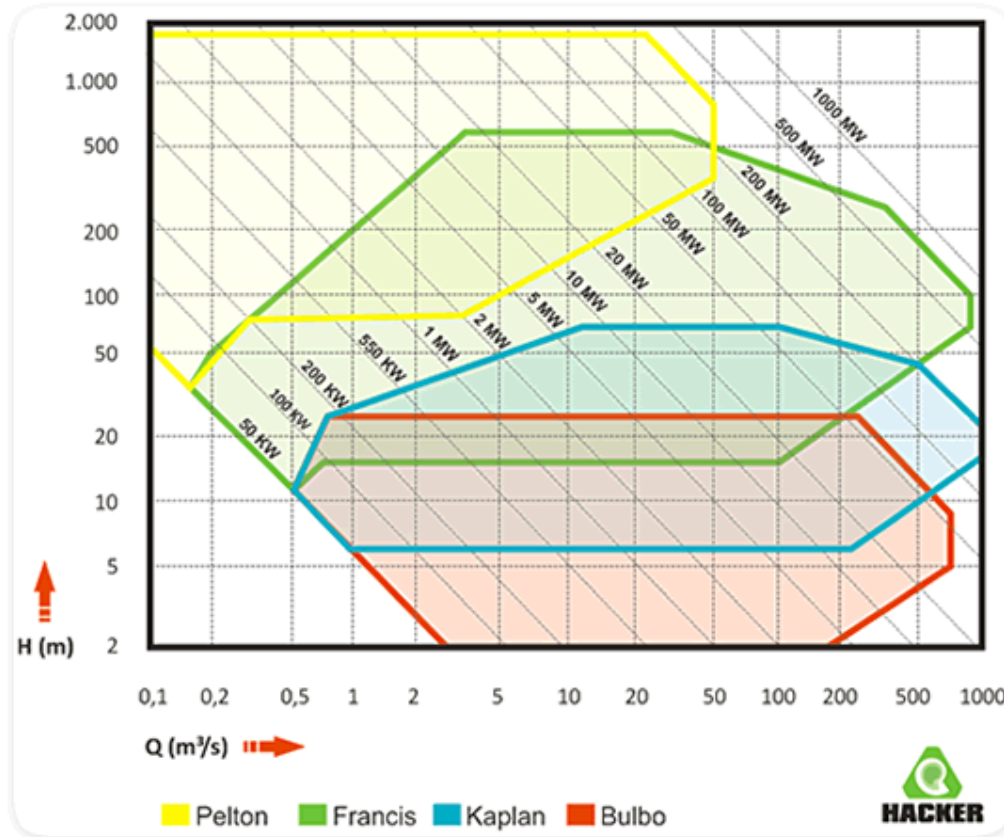


Figura 9 - Faixa de Operação dos tipos de Turbina Hidráulica (Fonte: Fabricante HACKER, 2015)

A potência de uma turbina pode ser calculada pela expressão a seguir:

$$P = \rho Q H G \eta$$

As quais são unidades do sistema internacional de unidades (SI):

- Densidade ( $\rho$ ): kg/m<sup>3</sup>
- Potência (P): Watt (W)
- Vazão Volumétrica (Q): m<sup>3</sup>/s
- Queda (H): m
- Aceleração gravitacional (G): m/s<sup>2</sup>

A incógnita ( $\eta$ ) é a eficiência total da turbina. Essa é a fração da energia total da fonte de energia primária (água), que é convertida em energia útil (potência no eixo).



As causas mais consideráveis pela perda de energia nas turbinas são:

- Perdas mecânicas: Pelo atrito que existe nos mancais e em outras partes da turbina.
- Perdas hidráulicas: A totalidade da energia da água não pode ser transferida para a turbina.

A eficiência das turbinas atuais está em torno de 85 % e 99 %, dependendo da potência gerada e da vazão de água.

## Tipos de Turbina

### a) Turbina Kaplan

Operam entre quedas de 20 m até 50 m. A única diferença entre as turbinas Kaplan e a Francis é o rotor. Assemelha-se a um propulsor de navio (similar a uma hélice) com duas a seis as pás móveis. Um sistema de embolo e manivelas montado dentro do cubo do rotor, é responsável pela variação do ângulo de inclinação das pás. Um óleo é injetado por um sistema de bombeamento localizado fora da turbina, que é conduzido até o rotor por um conjunto de tubulações rotativas que passam por dentro do eixo. O acionamento das pás é acoplado ao das palhetas do distribuidor, de modo que para uma determinada abertura do distribuidor, corresponde um determinado valor de inclinação das pás do rotor.



Figura 10 - Turbina Kaplan (Fonte: Zeco-Turbines)



### b) Turbina Francis

O tipo mais comum de turbinas hidráulicas em operação. São adequadas para uso entre quedas de 40 m até 400 m. O princípio de operação se assemelha ao de uma roda d'água, ao passar pela turbina, perde sua pressão, transferindo energia para o rotor, que a faz girar.

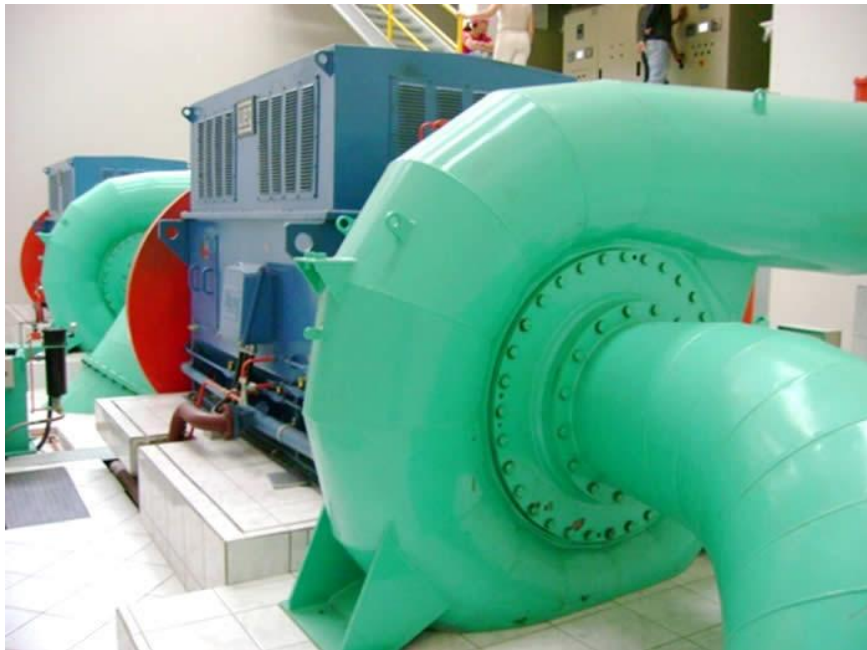


Figura 11 - Turbina Francis (Fonte: Fabricante Hacker)

### c) Turbina Pelton

Mais adequados para operações de quedas de 350 m até 1100 m, sendo assim mais utilizadas por países montanhosos.

Ela opera com velocidades de rotação maiores em comparação com outras e tem o rotor de características bem distintas. A turbina Pelton possui bocais, que lançam jatos d'água de encontro às “conchas” presentes no rotor, gerando movimento. O número de bocais varia de dois a seis, com espaçamentos iguais que garantem um balanceamento dinâmico do rotor.



Figura 12 - Turbina Pelton (Fonte: Fabricante Hacker)

#### d) Turbina Bulbo

Trabalham em quedas abaixo de 20 m. Elas foram inventadas inicialmente, na década de 1960, na França para a usina maremotriz de La Rance e depois desenvolvida para outras finalidades. Contém nela a turbina similar a uma turbina Kaplan horizontal, porém devido a baixa queda, o seu gerador hidráulico se posiciona em um bulbo por onde a água flui ao seu redor antes de chegar as pás da turbina.



Figura 13 - Turbina Bulbo (Fonte: Fabricante Zeco)

### **Sistema de Regulação de Velocidade**

Em pequenas centrais hidrelétricas esse sistema tem por função permitir a tomada de velocidade até a rotação nominal e na sequência a sincronização da unidade com a rede elétrica. Posteriormente, o regulador coordena a tomada de carga até o valor calculado pelo operador. Nas ligações com rede elétrica de grande porte, a unidade de geração mantém a frequência da rede, assim o regulador tem por função controlar a potência ativa.

Esse regulador é constituído por duas partes: a parte eletro eletrônica e a parte hidráulica, onde a ligação entre elas é feita pela válvula proporcional. A parte hidráulica que contém filtro, bomba, válvulas de distribuição, acumulador de pressão, viabiliza a chegada de óleo sob pressão até o servomotor hidráulico ligado ao distribuidor ou ao injetor da turbina. Esses dois regulam a vazão de água, tornando possível o controle da variação da potência fornecida pela turbina.

### **Sistema de Regulação de Tensão**

Esse sistema garante que a tensão gerada na usina continue constante, oscilando dentro de uma margem de erro exigida pela norma.

### **Comportas**

Elas têm como objetivo barrar a passagem hidráulica, operando normalmente abertas ou normalmente fechadas, dependendo da função desejada.

As comportas ficam fora de operação quando estão auxiliando a inspeção e a manutenção das estruturas civis, permanecendo assim normalmente abertas. As comportas de limpeza têm a função de permitir a saída de areia ou outro material decantado no fundo do reservatório. Elas têm dimensões pequenas, mas são sujeitas a pressões grandes pelo seu posicionamento no reservatório.

### **Válvulas de Segurança**

Essa válvula de segurança assume as funções da comporta de emergência da tomada d'água, cessando o fluxo de água para a proteção da usina, em caso de alguma falha no sistema. Ela também é acionada em casos de manutenções preventivas, que permitem o esvaziamento da

caixa espiral e do tubo de sucção. Para serem abertas, é acionado um cilindro hidráulico com pressão do regulador de velocidade. Seu fechamento, é realizado por contrapeso conectado diretamente ao eixo do disco da válvula, com a abertura de uma válvula solenoide, desloca o óleo da parte inferior de cilindro hidráulico.

### **Gerador Elétrico**

Responsável por transformar a energia mecânica gerada pela turbina em energia elétrica. Em PCHs os geradores usados podem ser tanto assíncronos, como síncronos.

Os geradores assíncronos são usados em usinas de até 1 MW. Possuem um preço mais em conta, tanto na manutenção quanto no seu próprio valor de mercado em comparação aos síncronos. Por possuir um fator de potência menor, pode ter um rendimento reduzido, fazendo necessário a instalação de bancos de capacitores.

Os geradores síncronos são chamados assim por possuírem a mesma velocidade do campo girante. Quando esse gerador libera potência para uma carga, a corrente de armadura forma uma onda componente do fluxo que gira à velocidade de sincronismo. Este fluxo reage com o fluxo criado pela corrente de excitação e cria-se um binário eletromagnético por causa da tendência que os campos têm de se alinhar.

Os geradores síncronos possuem um maior fator de potência e assim de eficiência também em comparação ao de indução, além de permitirem um melhor controle da tensão e potência fornecidas. Porém, para a operação do gerador síncrono se faz necessário outros tipos de equipamentos, reguladores de tensão, de velocidade, equipamentos de sincronização, sistema de excitação do campo do rotor, o que ocasiona um custo relativamente maior.

### **Princípio de Funcionamento**

Nas PCHs, a fonte de energia mecânica é produzida pela turbina hidráulica. Como gerador ligado à rede elétrica, sua rotação é regulada pela frequência da rede, pois a frequência da tensão trifásica depende diretamente da velocidade da máquina.

Para que a máquina síncrona tenha a capacidade de converter a energia mecânica aplicada a seu eixo, é necessário que o enrolamento de campo localizado no rotor da máquina seja alimentado por uma fonte de tensão contínua de forma que ao girar o campo magnético gerado pelos pólos do rotor tenham um movimento relativo aos condutores dos enrolamentos do estator. Essa alimentação provem de um dispositivo, excitatriz, que pode ser do tipo

estática (com escovas de carvão) ou brushless (sem escovas).

Por ter esse movimento relativo entre o campo magnético dos pólos do rotor, a intensidade do campo magnético que atravessa os enrolamentos do estator irá variar no tempo, e assim teremos pela lei de Faraday uma indução de tensões nos terminais dos enrolamentos do estator. Devido à distribuição e disposição espacial do conjunto de enrolamentos do estator, as tensões induzidas em seus terminais serão alternadas senoidais trifásicas.

A corrente elétrica usada para alimentar o campo é chamada de corrente de excitação. Quando o gerador funciona isoladamente de um sistema elétrico, a excitação do campo controlará a tensão elétrica gerada. Quando o gerador está conectado a um sistema elétrico que possui vários geradores interligados, a excitação do campo irá controlar a potência reativa gerada.

### **Volante de Inércia**

Em usinas geradoras de porte pequeno pode haver que o efeito de inércia das massas girantes seja insuficiente para garantir uma regulação de velocidade estável. Em casos como esse, o regulador não terá capacidade para controlar as variações bruscas de carga na unidade geradora.

Existem quatro grandezas que tem uma participação direta na variação brusca de carga e em suas consequências: a velocidade de fechamento do distribuidor, sobrevelocidade transitória da unidade, efeito de inércia das massas girantes e sobrepressão no conduto de adução.

Em uma determinada unidade geradora, o aumento da velocidade de fechamento do distribuidor causa, simultaneamente, em um aumento da sobrepressão ou conduto de adução e em diminuição da sobrevelocidade transitória. O aumento da sobrepressão é indesejável, pois implica em dimensionar a chapa do conduto com espessura maior, ou seja, gerando um custo maior. Entretanto, pode ser necessário a diminuição da sobrevelocidade transitória, e nesse caso, o aumento do efeito de inércia girante produzirá o efeito desejado sem interferir com a sobrepressão no conduto, já que o tempo de fechamento do distribuidor é mantido constante.

Faz-se, assim, necessário o acréscimo de material, que resulte em aumento do efeito de inércia. São, então, previstos discos de aço ou ferro fundido, ligados diretamente ao eixo do gerador e denominados volantes de inércia. O custo do volante de inércia pode ser estimado como 0,1% do custo do gerador para cada 1% de aumento no efeito de inércia das partes girantes, e é normalmente menos do que o custo adicional para aumento de espessura de chapa do conduto de adução, no caso de se optar por aceitar o aumento de sobrepressão anteriormente citado.

No caso de rejeição de carga total ou parcial, o volante de inércia servirá para manter a sobrevelocidade da unidade e a sobrepressão no conduto a montante do distribuidor da turbina, dentro de limites preestabelecidos no projeto da usina.

### **Transformadores Elevadores**

Tem a função de elevar a tensão da energia produzida pelo gerador. Geradores de PCHs produzem em uma tensão entre 220 V à 13,8 kV, enquanto as linhas de transmissão operam em tensões que variam de 13,8 kV à 500 kV, dependendo da distância entre a usina e o centro consumidor. Por isso, para que a energia gerada na PCH possa ser integrada à rede, são necessários transformadores elevadores.

### **Sistemas de Proteção**

Vários aspectos são envolvidos na escolha de um sistema de proteção para equipamentos elétricos presentes em uma PCH, operacionais, segurança física e pessoal, econômicos, que devem ser analisados.

Esse sistema deve ter um sistema independente do sistema de controle digital e as proteções devem atuar diretamente, através de seus contatos de saída, sobre os disjuntores ou dispositivos de parada, de modo a garantir a parada da máquina sem necessidade do sistema de controle digital.

Hoje em dia, estão disponíveis, quase que exclusivamente, relés de proteção com tecnologia digital, que em geral, possuem sistemas de proteção diferencial, proteção contra perda de excitação, contra carga desequilibrada, contra sobrevelocidade, contra sobretensão, contra sobrecarga, entre outros, visando proteger o equipamento de possíveis falhas, que possam acarretar danos à usina e ao pessoal.

### **Sistemas de Supervisão e Controle**

PCHs modernas possuem automação em sua operação. Atuadores e controladores lógico programáveis permitem que essa automação, venha a ser aplicada em usinas menores. Em certas pequenas centrais, toda a operação pode ser controlada remotamente, fazendo necessário então um operador para situações de emergência.

A automação ou semi-automatização de uma usina possui as seguintes vantagens:

- Ganhos de qualidade sobre o processo
- Agilidade operativa
- Redução dos custos operacionais
- Melhor utilização do pessoal
- Melhor produtividade
- Melhor utilização dos recursos disponíveis

Em pequenas centrais, os investimentos recomendados no processo de automação, são calculados pelos custos operacionais destas instalações e pelo custo da energia vendida.

A automação de uma pequena central envolve dois subsistemas:

- Subsistema de controle da casa de força e subestação, para regular a potência fornecida pelas turbinas
- Subsistema de controle da barragem, que regula a altura do reservatório, a vazão fornecida ao canal de adução e abertura de comportas.

### **Sistemas Auxiliares Elétricos**

Fornecem energia, em corrente alternada e em corrente contínua para os sistemas auxiliares da usina, como sistema de ventilação, sistemas de excitação, iluminação, bombas para a circulação de óleo, entre outros.

### **Subestação**

É uma instalação elétrica de alta potência, que contém equipamentos para a transmissão e distribuição, controle e proteção da energia gerada. Nela estão presentes os seguintes equipamentos:

- Transformadores de Corrente
- Transformadores de Potência
- Disjuntores
- Para-raios
- Seccionadores

Na proteção das linhas de transmissão utilizam-se dois tipos de sistemas de proteção: relés de distância e relés de sobrecorrente.

Caso a usina opere em sistema isolado, se utiliza relés de sobrecorrente de características de tempo inverso associados a relés de sobrecorrente instantâneos.

Em operação interligada a um sistema elétrico, se aplica um sistema de proteção compatível com o sistema que já está em uso no ponto de interligação. Quando a subestação for ligada a um sistema elétrico existente, esses equipamentos deverão ser adequados para os níveis de curto circuito no sistema, considerando futuras expansões previstas.

### **1.2.4 Tipos de Usinas Hidrelétricas quanto à Capacidade de Regulação**

#### **PCHs de Acumulação**

Esse tipo de configuração é usado quando as vazões de estiagem do rio são inferiores à necessária para oferecer a potência para suprir a demanda máxima do mercado e acontecem com risco superior ao esperado no projeto. Assim, para que seja feita a normalização da vazão no tempo de seca se faz a construção de um reservatório, para acumular água e fornecer a vazão mínima para a usina poder gerar energia.

Esses reservatórios, no entanto, são responsáveis por grande impacto ambiental causado pela usina, por alagar a área, destruindo a mata ciliar que está presente nas margens do rio.

### **1.3 Operação**

A quantidade de energia que a usina pode oferecer é diretamente influenciada pelos fatores meteorológicos, como chuvas e épocas de seca.

A vazão de água disponível para turbinar, junto com a demanda de energia da carga, são dados primordiais para que se possa operar a usina de forma adequada.

Nas usinas em que a água é conduzida pelos canais e condutos até a casa de força, é necessário que parte dessa água seja vertida, para evitar que o trecho “cortado” pela usina não seque. Outra parte da vazão pode ser direcionada para a escada de peixes, deixando o restante do fluxo disponível para ser turbinada.

Todas essas informações, junto com a demanda de energia da carga, mostram ao operador quanta potencia a usina pode gerar. Com isso, controlando a abertura das pás ou injetores da



turbina, oscilando o torque gerado, assim varia a potencia produzida.

## 2 Relatório da Visita técnica

Para a realização deste trabalho de graduação foi feita uma visita técnica a uma pequena central hidrelétrica, construídas antes da definição de PCH, e dos incentivos do PROINFA. Essa usina é considerada PCH pela ANEEL segundo o Banco de Informações de Geração<sup>4</sup>

### 2.1 PCH Salto Grande

Localizada em Campinas-SP na Rodovia SP-65 está instalada no rio Atibaia, e é de propriedade da CPFL Energia. Iniciou sua operação em 1912, com duas unidades geradoras, sendo adicionada posteriormente uma terceira unidade em 1989. No ano de 2002 passou por uma repotencialização e por uma automação, atingindo os 4,6 MW de potência instalada, onde duas unidades de 1,6 MW e uma unidade de 1,4 MW.

Essa usina opera com vazão máxima de 15 m<sup>3</sup>/s, sendo que é necessário uma vazão mínima de 5 m<sup>3</sup>/s passando pelo vertedouro para evitar problemas de abastecimento no rio.

Na Figura a seguir, pode-se ter uma vista da barragem da usina. Do tipo gravidade, essa barragem foi feita em concreto e tem comprimento de 45 metros na crista e 7,10 metros de altura máxima. Nota-se que a água está vertendo naturalmente pela soleira, através de 20 vãos livres. Há duas comportas de fundo, que são utilizadas para verter o excesso de água quando o reservatório está no nível acima do normal, e também para a liberação de sedimentos que acumulam no fundo da barragem.

---

<sup>4</sup> Página da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL disponível em:  
<<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/GeracaoTipoFase.asp?tipo=5&fase=3>>  
acessado em: 10/06/2015



Figura 14 - Barragem vista da margem leste do Rio Atibaia (Foto do autor)

Nas duas imagens seguintes, observamos a montante e a jusante do rio.



Figura 15 - Vista da Montante do Rio Atibaia (Foto do autor)



Figura 16 - Vista da Jusante do Rio Atibaia (Foto do autor)

Na imagem a seguir, vemos a escada para peixes, fácil acesso para os peixes subam o rio na época de piracema.



Figura 17 - Escada para peixes (Foto do autor)

A água que alimenta as turbinas se desloca através da tomada d'água, onde uma grade retém as folhas e outras impurezas, que possam vir junto com a água do rio e poderiam causar danos

nas turbinas. Em épocas de cheias, as grades necessitam ser limpas várias vezes ao dia, o que é feito de forma automática nessa unidade, através de um “rodo”, acionado por motores, que limpa a grade e joga os resíduos em uma esteira, que na sequência os joga novamente ao rio, à jusante da barragem.



Figura 18 - Início da Tomada d'água, com a grade de limpeza (Foto do autor)

Depois da tomada d'água, ela continua pelo canal de adução até a câmara de carga, onde alimentam os condutos forçados, que levarão a água até as turbinas. Esse canal de adução, foi construído em alvenaria de pedra, com fundação em solo de alteração de rochas graníticas e blocos de rocha. O comprimento total é de 410 metros.



Figura 19 - Canal de Adução (Foto do autor)



No final do canal de adução, existe a Câmara de Carga, com três comportas protegidas por grades de retenção de resíduos sólidos. Ali saem os condutos de adução até a Casa de Força.



Figura 20 - Final do canal de adução e comporta da Câmara de Carga (Foto autor)

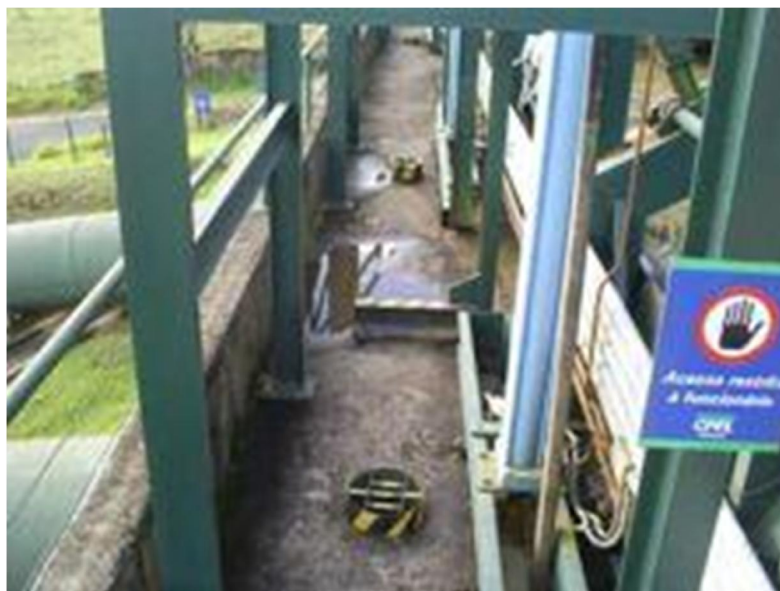


Figura 21 - Parte Superior da Câmara de Carga (Foto autor)

Os condutos forçados são feitos de aço, com 102 metros de comprimento cada. Dois deles possuem diâmetro de 2 metros; o terceiro, mais novo, tem diâmetro menor. Os apoios dos condutos são de alvenaria de pedra e concreto.



Figura 22 - Conduitos Forçados (Foto do autor)

Feita de alvenaria de tijolinho, a casa de força contém as três unidades geradoras, também abriga painéis de controle e regulação e os computadores que rodam o sistema da usina.



Figura 23 - Casa de Força (Foto do autor)

A seguir, observa-se o painel de controle original da usina da data de 1912.

No período da modernização de 1989 a 2002, eles foram trocados por equipamentos mais novos, tornando a usina hoje completamente automatizada, com operações através de sistemas supervisórios, e os dados da usina são repassados para uma sede da CPFL, de onde a usina é operada.



Figura 24 - Antigo Painel de Controle da Usina (Foto do Autor)

Unidades geradoras são constituídas por turbinas Francis Horizontal e geradores síncronos.



Figura 25 - Vista geral das Turbinas Hidráulicas (Foto do Autor)

A seguir nota-se um dos geradores de 1,6 MW, de fabricação da GE.

Observa-se também o volante de inércia, o multiplicador, aumentando a velocidade do eixo de 400 rpm na ponta da turbina para os 1200 rpm do gerador, e as unidades hidráulicas, responsáveis pelo acionamento dos mancais, dos freios e das válvulas da turbina.



Figura 26 - Da direita para a esquerda: Gerador, Volante de Inercia, Multiplicador, Mancal e Unidade de Lubrificação (Foto do autor)

Canal de fuga se estende dos porões em alvenaria de pedra até a margem esquerda do rio Atibaia.



Figura 27 - Saída do Canal de Fuga (Foto do autor)

Os geradores produzem em uma tensão de 2,2 kV, depois elevada a 34,5 kV pela subestação da usina e é transmitida para uma subestação da CPFL, sendo integrada à rede.





Figura 28 - Subestação Elevadora (Foto do autor)

No começo dos anos 90, uma cooperação foi feita entre o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A.- IPT e a Companhia Paulista de Força e Luz – CPFL para a construção de um Centro de Demonstração de equipamentos para micro-usinas hidrelétricas, usando recursos hidráulicos de Salto Grande.



Figura 29 - Micro Usinas Hidrelétricas (Foto do autor)

### **3 Conceitos e Programas Institucionais**

#### **3.1 Definição de PCHs**

De acordo com a resolução nº 343 de 2008 da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), uma Pequena Central Hidrelétrica é toda usina cuja capacidade instalada seja superior a 3 MW e inferior a 30 MW. Além disso, a área do reservatório deve ser inferior a 3 km<sup>2</sup>. Também fica declarado que o aproveitamento hidrelétrico com área de reservatório superior a 3 km<sup>2</sup>, excluindo a calha do leito regular do rio, será considerado uma PCH se o reservatório for de regularização, no mínimo semanal ou cujo dimensionamento, tenha sido baseado em outros objetivos que não o de geração de energia elétrica.

#### **3.2 O PROINFA**

Criado em 2002 no dia 26 de abril, pela Lei nº 10.438, o PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica), coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) declara a contratação de 3.300 MW de energia no Sistema Interligado Nacional (SIN), produzidos por pequenas centrais hidrelétricas, fontes eólicas e biomassa, das quais 1.100 MW de cada fonte. Com a revisão pela Lei nº 10.762, de 11 de novembro de 2003, o programa garante a participação de um número maior de estados, a exclusão dos consumidores de baixa renda do pagamento do rateio e o incentivo à indústria nacional.

Com a criação do PROINFA, calcula-se que seriam criados 150 mil empregos diretos e indiretos durante a construção e operação dos empreendimentos.

O valor total de investimentos previstos pelo setor privado chegam a R\$ 8,6 bilhões. Com uma das exigências da Lei nº 10.762 que garante a obrigatoriedade de um índice mínimo de nacionalização de 60% do custo de construção dos projetos.

Para que uma pequena usina pudesse ser selecionada para a participação da primeira fase do PROINFA, o produtor teria que ser qualificado como Produtor Independente Autônomo ou como Produtor Independente não Autônomo. No decreto nº 5.025 de março de 2005 define:

VII – Produtor Independente Autônomo – PIA: produtor independente de energia elétrica é considerado autônomo quando sua sociedade, não sendo ela própria concessionária de qualquer espécie, não é controlada ou coligada de concessionária de serviço público ou de uso de bem público de geração, transmissão ou distribuição de energia elétrica, nem de seus controladores ou de outra sociedade controladora ou coligada com o controlador comum, conforme artigo 3 da Lei nº 10.438, de 2002;

VIII – Produtor Independente de Energia Elétrica – PIE: pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização do poder concedente, para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida, por sua conta e risco, conforme o artigo 11 da Lei nº 9.074, de julho de 1995.

Ainda assim, um produtor poderá ser considerado como Produtor Independente Não Autônomo, se não se encaixar na categoria de Produtor Independente Autônomo.

Esse processo de seleção de projetos a ser considerados pelo PROINFA, no caso PCHs, é detalhado abaixo, retirado do Guia de Habilitação PCH (MME,2004);

- 1) Com base nas cartas-respostas manifestando a intenção do empreendedor de participar do PROINFA e analisando a documentação entregue, a ELETROBRÁS definirá uma lista de empreendedores habilitados, ordenada pelo critério de antiguidade da LI, começando pelo empreendimento que tem a LI mais antiga até aquele que teve a LI emitida mais recentemente. Esta lista deverá contemplar apenas Produtores Independentes Autônomos.
- 2) Neste momento é realizado o somatório das potências dos empreendimentos dos produtores autônomos habilitados, verificando se este é superior aos 1.100 MW destinado à fonte. Caso este valor seja superior à meta do PROINFA (1.100MW), não ocorrerá a contratação de produtores Não Autônomos. Caso ele venha a ser menor que os 1.100 MW destinados à fonte, será elaborada uma segunda lista, ordenada também segundo o critério de antiguidade de LI, para os empreendedores Não Autônomos;
- 3) Inicia-se a seleção dos projetos na ordem da lista de Autônomos, separando aqueles selecionados em novas listas por estado, sendo que, no momento em que um estado atingir 165 MW, não mais serão selecionados projetos daquela unidade da federação, até que todos os estados contemplados nesta lista sejam atendidos ou que se atinja a meta de 1.100 MW;
- 4) Os empreendimentos implantados na divisa de duas ou mais unidades da federação ficarão alocados, para o processo de regionalização, no estado onde estiver implantado o edifício de geração da central (casa de força);

- 5) Durante a seleção dos empreendimentos, considerando o limite de 165 MW por estado, caso a contratação de um empreendimento supere este limite, será considerado, nesta etapa, apenas o montante em “MW” que complete os 165 MW;
- 6) Após a seleção definida nos itens (1),(2),(3) e (4), existindo saldo remanescente, verificar-se-á em quais estados ainda existem projetos com LI não selecionados e qual a participação percentual de cada estado no montante total de potência dos projetos restantes. Calculada a participação, esta é aplicada ao saldo remanescente de potência, encontrando-se o montante adicional a ser contratado em cada estado;
- 7) Novamente se inicia a seleção, considerando os projetos não-contemplados em ordem de LI mais antiga, até o limite do montante adicional definido no item (6), contemplando, obrigatoriamente os empreendimentos que foram os últimos elegíveis no item (5) e tiveram sua capacidade contratada apenas parcialmente;
- 8) Após as duas rodadas de seleção, podem existir empreendimentos que foram selecionados para contratação parcial. Nesses casos, o empreendedor afetado será convocado pela ELETROBRÁS para decidir se aceita ter seu empreendimento contratado parcialmente. Caso o empreendedor não aceite, seu projeto será removido e substituído pelo imediatamente seguinte, segundo a ordem de antiguidade de LI;
- 9) Não Existindo mais projetos de Autônomos nem tendo sido contratados os 1.100 MW, adotar-se-á o mesmo procedimento definido nos itens (1),(2),(3),(4),(5),(6) e (7) para a seleção de projeto de Não Autônomos, seguindo a ordem da segunda lista. Para este caso, será respeitado o limite de contratação de 275 MW, destinado por lei a este tipo de empreendedor;
- 10) Depois de definida a lista final de projetos selecionados, a ELETROBRÁS divulgará o resultado, dando prazo legal para que os interessados selecionados apresentem a documentação necessária.

Uma segunda etapa do PROINFA ainda prevê que, após a meta de 3.300 MW gerados pelas fontes que estão nesse programa, essas fontes passem a atender 10% do consumo anual de energia elétrica do país em 20 anos.

### 3.3 Geração Distribuída

A geração distribuída é utilizada para atribuir projetos de geração de pequeno porte, que são conectados de forma dispersa a rede elétrica e ficam localizadas próximo ao usuário.

Essa geração é definida pelo artigo 14º do decreto nº 5.163 de julho de 2004 como sendo:

“Art. 14. Para os fins deste Decreto, considera-se geração distribuída a produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionário, permissionários ou autorizados, incluindo aqueles tratados pelo art. 8º da Lei nº 9.074, de 1995, conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aquela proveniente de empreendimento:

- I. Hidrelétrico com capacidade instalada superior a 30 MW; e
- II. Termelétrico, inclusive de cogeração, com eficiência energética inferior a setenta e cinco por cento, conforme regulação da ANEEL, a ser estabelecida até dezembro de 2004.

Parágrafo único. Os empreendimentos termelétricos que utilizem biomassa ou resíduos de processo como combustível não estarão limitados ao percentual de eficiência energética prevista no inciso II.”

Várias tecnologias de geração e armazenamento podem ser utilizadas na Geração Distribuída:

- Geradores a Diesel
- Centrais Elétricas de Pequeno Porte
- Energia Eólica
- Sistemas Fotovoltaicos
- Turbinas a Gás
- Sistema a Biomassa
- Sistemas Termosolares

Também pode atuar para:

- Elevar a confiança e a qualidade do suprimento, no caso de indústrias intensas, como siderúrgicas, que usam usinas hidrelétricas de pequeno porte e pequenas termoeletricas para garantir um suprimento confiável de energia.
- Cumprir a demanda de ponta, proporcionando o suprimento necessário nos horários mais concorridos de consumo.
- Ser como uma reserva operativa, para ser usada quando precisar cobrir possíveis déficits contratuais.
- Participar nos esquemas de cogeração, como no exemplo de usinas de cana de açúcar, quando o bagaço é utilizado para gerar eletricidade para a usina.
- Suprir áreas longínquas com baixa densidade de carga, quando os custos da construção de linhas de transmissão se tornam impraticáveis pela baixa demanda nessas regiões por energia.

Além disso, podemos classificar a Geração Distribuída como:

### **3.3.1 Geração Distribuída Isolada**

É a Geração Distribuída que será operada de forma isolada ao sistema elétrico, como por exemplo, em locais mais afastados ou zonas rurais, locais em que as linhas de transmissão ainda não foram instaladas, ou para o consumo próprio no caso de sistemas de cogeração.

### **3.3.2 Geração Distribuída Interconectada**

Faz referência à Geração Distribuída que se conecta ao sistema elétrico, atuando em regime permanente com ele, que é subdividida em:

- Geração Distribuída do consumidor, de posse do consumidor-investidor e opera ou por ele ou pela própria concessionária;
- Geração Distribuída de concessionária, de posse da própria concessionária que também faz a operação.

No momento em que a GD é interconectada, se faz necessário que ela esteja em paralelismo e sincronismo com a rede da concessionária local. Os empreendimentos de GD geram uma

tensão de até 13,8 kV, enquanto que as tensões básicas de distribuição podem atingir de 13,8 kV, 69 kV ou 138 kV<sup>5</sup>, conforme o local instalado.

### **3.4 Outros Incentivos para as PCHs**

Além dos benefícios apresentados pelo PROINFA, as pequenas centrais tem outros meios de incentivos como: a isenção de pagamento de Uso de Bem Público – UBP; a isenção relativa à compensação financeira, debitada aos Estados e Municípios; a isenção da obrigação de aplicar anualmente o montante de no mínimo 1% de sua receita de operação líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico; a possibilidade de comercializar a energia elétrica produzida com consumidores que possuem carga que seja maior ou igual a 500 kW (REN ANEEL 247/2006); a redução de 50% no pagamento de encargos pelo uso das rede de transmissão e distribuição (REN ANEEL 77/204).(EPE,2008<sup>a</sup>,p.20) e a possibilidade de sub-rogação da CCC (Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis) nos empreendimentos instalados no sistemas isolados (REN ANEEL 245/1999).

---

<sup>5</sup> Tensões maiores são vantajosas na distribuição, pois diminuem as perdas do efeito Joule.

## 4 A Situação Energética Atual e Perspectivas de Expansão

### 4.1 A Matriz Energética Atual

Fontes renováveis de energia proporcionarão papel cada vez mais notáveis na matriz energética mundial nos próximos anos. Com a questão ambiental em alerta e o acolhimento mundial em bases sustentáveis, incentiva-se a criação de pesquisas de desenvolvimento tecnológica. Tais pesquisas que tem como ideia incorporar os efeitos da aprendizagem e reduzir os custos da geração dessas novas tecnologias. O Brasil tem posição notável em função da sua liderança nas principais etapas de negociação e da notória participação das fontes renováveis na sua matriz energética.

O Brasil tem situação privilegiada em termos de utilização das fontes renováveis de energia. Aqui, 43,9% da Oferta Interna de Energia (OIE) é renovável, enquanto a média mundial é de 14% e nos países em desenvolvimento, apenas de 6%<sup>6</sup>. A matriz energética representa toda a energia disponibilizada para transformação, distribuição e consumo nos processos de produção do País.

Na Oferta Interna de Energia Elétrica, o Brasil possui mais de 4.326 empreendimentos em operação, com uma capacidade de 139.094 MW de potência instalada, além de importar 8.170 MW dos países da fronteira, totalizando 147.264 MW de oferta de energia. Desse total, mais de 79% da energia produzida é proveniente das fontes renováveis de energia, como hidrelétrica, eólica e biomassa.

Nesse momento, as PCHs são responsáveis pela geração de 3,47% de toda energia elétrica produzida no Brasil, com 4.835,8 MW instalados em 467 empreendimentos<sup>7</sup>.

---

<sup>6</sup> Sítio Eletrônico do Ministério de Minas e Energia. Disponível em <[http://www.mme.gov.br/programas/proinfa/menu/programas/Energias\\_Renováveis.html](http://www.mme.gov.br/programas/proinfa/menu/programas/Energias_Renováveis.html)> acessado em 12/10/2015.

<sup>7</sup> Sítio Eletrônico da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>> acessado em 14/10/2015.



Fonte			Capacidade Instalada			Total			
Origem	Fonte Nível 1	Fonte Nível 2	Nº de Usinas	( KW )	%	Nº de Usinas	( KW )	%	
Biomassa	Agroindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar	390	10.459.020	7,1022	406	10.565.975	7,1748	
		Biogás-AGR	2	1.722	0,0011				
		Capim Elefante	3	65.700	0,0446				
	Biocombustíveis Líquidos	Casca de Arroz	11	39.533	0,0268	2	4.350	0,0029	
		Óleos vegetais	2	4.350	0,0029				
		Carvão Vegetal	7	51.397	0,0349				
	Floresta	Gás de Alto Forno - Biomassa	8	109.865	0,0746	81	2.521.323	1,7121	
		Licor Negro	17	1.978.136	1,3432				
		Resíduos Florestais	49	381.925	0,2593				
		Resíduos animais	9	1.804	0,0012				
	Resíduos sólidos urbanos	Biogás - RU	11	70.873	0,0481	11	70.873	0,0481	
		Cinética do vento	276	6.691.697	4,5440				276
Eólica									
Fóssil	Carvão mineral	Calor de Processo - CM	1	24.400	0,0165	23	3.614.155	2,4541	
		Carvão Mineral	13	3.389.465	2,3016				
		Gás de Alto Forno - CM	9	200.290	0,1360				
	Gás natural	Calor de Processo - GN	1	40.000	0,0271	143	12.906.382	8,7640	
		Gás Natural	142	12.866.382	8,7369				
	Outros Fósseis	Calor de Processo - OF	1	147.300	0,1000	1	147.300	0,1000	
		Petróleo	7	339.960	0,2308				2155
			Óleo Combustível	41	4.141.353	2,8121			
			Óleo Diesel	2091	4.519.756	3,0691			
			Outros Energéticos de Petróleo	16	937.928	0,6369			
Hídrica	Potencial hidráulico	Potencial hidráulico	1192	90.620.311	61,535	1192	90.620.311	61,535	
Nuclear	Urânio	Urânio	2	1.990.000	1,3513	2	1.990.000	1,3513	
Solar	Radiação solar	Radiação solar	25	21.233	0,0144	25	21.233	0,0144	
Importação				5.650.000	3,8366			5,5478	
				2.250.000	1,5278				
				200.000	0,1358				
				70.000	0,0475				
<b>Total</b>			<b>4326</b>	<b>147.264.400</b>	<b>100</b>	<b>4326</b>	<b>147.264.400</b>	<b>100</b>	

Tabela 1 - Matriz Energética (Fonte: Banco de Informações de Geração - ANEEL, 2015)<sup>8</sup>

## 4.2 Cenário Futuro: Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2024

O Ministério de Minas e Energia – MME, juntamente com seus órgãos e empresas, realizam diversos estudos e análises com o objetivo de subsidiar a formulação de políticas de energia, bem como orientar a definição dos planejamentos dos setores. Com a Empresa de Pesquisa Energética – EPE, é conduzido anualmente o Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE, que fornece previsões para o crescimento da demanda por energia para os próximos anos.

O último PDE disponibilizado pela EPE é para o ano de 2014-2024, e aponta que a capacidade instalada passará de 133 GW de 2014 para 206 GW no ano de 2024.

<sup>8</sup> Sítio Eletrônico da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>> acessado em 14/10/2015.

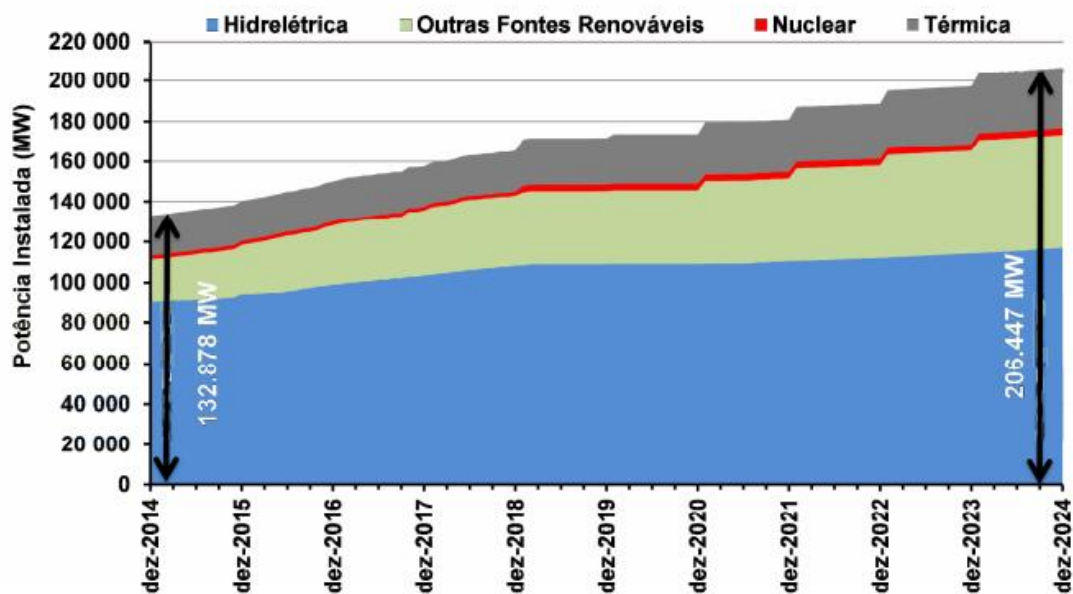


Figura 30 - Evolução da capacidade instalada do SIN (Fonte EPE, 2015, pag. 93)

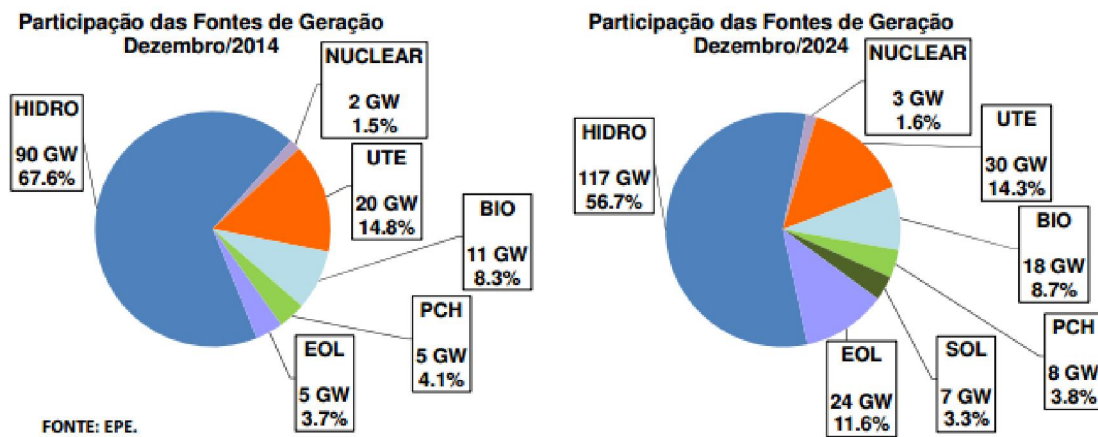
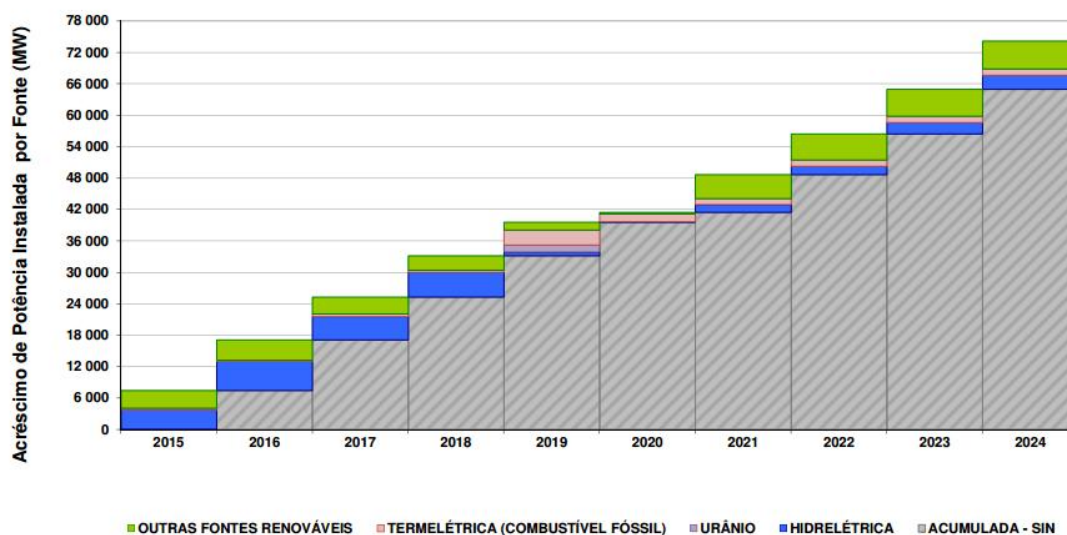


Figura 31 - Evolução da capacidade instalada por fonte de geração (Fonte: EPE, 2015, pag.96)

FONTE	2014 <sup>(c)</sup>	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
	MW										
<b>RENOVÁVEIS</b>	<b>111.269</b>	<b>118.380</b>	<b>127.866</b>	<b>135.486</b>	<b>142.972</b>	<b>145.177</b>	<b>145.560</b>	<b>151.554</b>	<b>158.102</b>	<b>165.460</b>	<b>173.417</b>
HIDRO <sup>(a)</sup>	82.789	86.540	92.152	96.587	101.354	102.040	102.115	103.549	105.137	107.335	109.972
IMPORTAÇÃO <sup>(b)</sup>	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000
BIOMASSA + EÓLICA + PCH + SOLAR	21.480	24.840	28.714	31.899	34.618	36.137	36.445	41.005	45.965	51.125	56.445
<b>NÃO RENOVÁVEIS<sup>(e)</sup></b>	<b>21.609</b>	<b>21.913</b>	<b>22.082</b>	<b>22.092</b>	<b>22.493</b>	<b>26.714</b>	<b>28.230</b>	<b>29.430</b>	<b>30.630</b>	<b>31.830</b>	<b>33.030</b>
URÂNIO	1.990	1.990	1.990	1.990	1.990	3.395	3.395	3.395	3.395	3.395	3.395
GÁS NATURAL	11.043	11.317	11.486	12.026	12.427	14.903	16.419	17.619	18.819	20.019	21.219
CARVÃO	3.064	3.064	3.064	3.064	3.064	3.404	3.404	3.404	3.404	3.404	3.404
ÓLEO COMBUSTÍVEL <sup>(d)</sup>	3.586	3.586	3.586	3.201	3.201	3.201	3.201	3.201	3.201	3.201	3.201
ÓLEO DIESEL	1.239	1.269	1.269	1.124	1.124	1.124	1.124	1.124	1.124	1.124	1.124
GÁS DE PROCESSO	687	687	687	687	687	687	687	687	687	687	687
<b>TOTAL</b>	<b>132.878</b>	<b>140.293</b>	<b>149.948</b>	<b>157.578</b>	<b>165.465</b>	<b>171.891</b>	<b>173.790</b>	<b>180.984</b>	<b>188.732</b>	<b>197.290</b>	<b>206.447</b>
	Participação Relativa (%)										
<b>RENOVÁVEIS</b>	<b>83,7%</b>	<b>84,4%</b>	<b>85,3%</b>	<b>86,0%</b>	<b>86,4%</b>	<b>84,5%</b>	<b>83,8%</b>	<b>83,7%</b>	<b>83,7%</b>	<b>83,8%</b>	<b>84,0%</b>
HIDRO <sup>(a)</sup>	67,6%	66,7%	66,1%	65,7%	65,5%	63,4%	62,8%	61,0%	59,3%	57,9%	56,7%
OUTRAS	16,2%	17,7%	19,1%	20,2%	20,9%	21,0%	21,0%	22,7%	24,4%	26,0%	27,3%
<b>NÃO RENOVÁVEIS</b>	<b>16,3%</b>	<b>15,6%</b>	<b>14,7%</b>	<b>14,0%</b>	<b>13,6%</b>	<b>15,5%</b>	<b>16,2%</b>	<b>16,3%</b>	<b>16,3%</b>	<b>16,2%</b>	<b>16,0%</b>
URÂNIO	1,5%	1,4%	1,3%	1,3%	1,2%	2,0%	2,0%	1,9%	1,8%	1,7%	1,6%
OUTRAS	14,8%	14,2%	14,7%	14,1%	13,4%	12,5%	12,5%	13,0%	13,4%	13,7%	14,5%
<b>TOTAL</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>

Tabela 2 - Evolução da capacidade instalada por fonte de geração (Fonte: EPE, 2015, pag. 95)

A concretização deste plano com essa composição de fontes na expansão planejada, predominantemente renováveis, depende principalmente da obtenção de Licenças Prévia Ambientais, de como que as usinas indicadas possam participar dos leilões de compra de energia provenientes de novos empreendimentos, previstos em lei. A complementação dessa expansão, com térmicas movidas a gás natural, depende da disponibilidade deste combustível, da viabilidade e da competitividade dos empreendimentos no horizonte decenal. Caso este cenário não se configure, outras fontes, a exceção do óleo combustível, constituirão alternativas de atendimento à demanda, frente a eventuais atrasos dos projetos indicados, dentre as quais se destaca o carvão.



FORTE: EPE.

Figura 32 - Acréscimo acumulado de capacidade instalada por fonte

As projeções em relação às PCHs na próxima década apontam um aumento em 3 GW e terá um percentual na matriz de 3,8% do total. O que pode impedir essa evolução são as complicações com as terras alagadas possíveis, que podem impedir o avanço na construção de outras novas pequenas centrais hidrelétricas.

## 5 Conclusão

Centrais hidrelétricas desempenham um importante papel no desenvolvimento do setor elétrico brasileiro. No início, pequenas usinas eram erguidas para suprir a nascente indústria brasileira. Pouco depois, começaram a abastecer cidades e estados cada vez maiores, e com uma crescente integração do sistema de distribuição, usinas maiores e mais potentes foram sendo instaladas, colocando de lado as de pequeno porte, com algumas até sendo desativadas, onde por um longo período poucas foram feitas, e quase sempre pela iniciativa privada.

No entanto, com o incentivo de programas como o PROINFA junto com as alterações no setor elétrico, as PCHs novamente se tornam uma alternativa válida para produção de energia elétrica. Com a regulamentação da Geração Distribuída a o Produtor Independente, facilitou ainda mais a comercialização da energia produzida, fazendo com que as usinas de pequeno porte, que eram mais usadas para auto produção, passassem a ser usadas também na geração de energia para comercialização.

Apesar do tamanho, essas usinas englobam todas as características das grandes usinas. Geradores, turbinas reservatórios, vertedouros, barragens, entre outros itens também fazem parte da composição das PCHs. A visita técnica feita durante a produção dessa dissertação contribuiu de forma enorme para o entendimento de como funcionam as usinas hidrelétricas. Muito relevante encontrar um alto grau de automação encontrado nessa usina visitada com computadores, sensores e atuadores para aprimorar uma tecnologia que era antiga no local.

Em relação ao futuro do papel das pequenas centrais na Matriz Energética Brasileira, pouco pode-se fazer a não ser projeções. Há um potencial de aproximadamente uma Itaipu a ser aproveitado por PCHs, mas como esse potencial será aproveitado, depende muito da evolução de políticas de incentivo governamentais.

## 6 Referências

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Resolução nº 394 de dezembro de 1998.

Banco de Informações de Geração, 2015. Sítio Eletrônico da ANEEL. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>> Acessado em 13/10/2015

BERMANN, C. (Org.). PROINFA: da Proposta à Realidade. As Novas Energias do Brasil. 1/1 ed. Rio de Janeiro: FASE, 2007, p. 87-176.

BRASIL. Lei Federal Nº 9.074 de 7 de julho de 1995.

Decreto Federal Nº 5.025 de 30 de março de 2004.

Decreto Federal Nº 5.163 de 30 de julho de 2004.

Lei Federal N.º 11.943 de 28 de maio de 2009.

CSPE - Comissão de Serviços Públicos de Energia. Pequenas Centrais Hidrelétricas no Estado de São Paulo. Comissão de Serviços Públicos de Energia. 2. edição revista e ampliada. São Paulo, Páginas & Letras Editora e Gráfica, 2004

ELETROBRÁS. Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCH. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. - Eletrobrás, Rio de Janeiro, 2000.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Plano Decenal de Expansão de Energia 2024 – Capítulo III-1 65. EPE, Rio de Janeiro, 2015.

O Papel das PCH e Fontes Alternativas de Energia na Matriz Energética Brasileira. Apresentação no VI Simpósio Brasileiro sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas, Belo Horizonte, 2015.

EUROPEAN COMMISSION. Guidebook on the RES Power Generation Technologies. European Commission. Athens, 2001.

LIMA, J. Energias Alternativas Renováveis: Eólica, Biomassa, PCH e Solar. Fórum ABINEE TEC 2009, São Paulo, Eletrobrás, 2009.

MARANHÃO, R. Capítulo 2: Histórico. In: CSPE. Pequenas Centrais Hidrelétricas no Estado de São Paulo. Comissão de Serviços Públicos de Energia. 2. edição revista e ampliada. São Paulo, Páginas & Letras Editora e Gráfica, 2004.

PROINFA Programa De Incentivo Às Fontes Alternativas De Energia Elétrica – Apresentação Institucional. Disponível em:  
<<http://www.mme.gov.br/programas/proinfa/menu/apresentacao/apresentacoes.html>>  
acessado em 21/09/2015.