

CENTRO UNIVERSITÁRIO FACVEST - UNIFACVEST  
ENGENHARIA ELÉTRICA

CEZAR AUGUSTO DOS SANTOS DAHMER

**GERAÇÃO DE ENERGIA: GUIA DE IMPLANTAÇÃO DE  
PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS.**

CEZAR AUGUSTO DOS SANTOS DAHMER

**GERAÇÃO DE ENERGIA: GUIA DE IMPLANTAÇÃO DE  
PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS.**

Lages

2019

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro  
Universitário Facvest - UNIFACVEST, como requisito parcial  
para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientadora: Prof. Dra. Franciéli Lima de Sá

Lages  
2019

CEZAR AUGUSTO DOS SANTOS DAHMER

**GERAÇÃO DE ENERGIA: GUIA DE IMPLANTAÇÃO DE  
PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro  
Universitário Facvest - UNIFACVEST, como requisito parcial  
para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientadora: Prof. Dra. Franciéli Lima de Sá

Lages, SC \_\_\_\_/\_\_\_\_/2019. Nota \_\_\_\_\_

Lages  
2019

# **GERAÇÃO DE ENERGIA: GUIA DE IMPLANTAÇÃO DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS.**

Cezar Augusto dos Santos Dahmer<sup>1</sup>

Franciéli Lima de Sá<sup>2</sup>

## **RESUMO**

O Brasil está em constante desenvolvimento e para suprir a demanda energética do país o setor elétrico deve se organizar a fim de atender de forma confiável o fornecimento de energia elétrica. A construção de Pequenas Centrais Hidrelétricas vem sendo uma boa alternativa para atender esta demanda energética, de forma a minimizar os impactos socioambientais. Devido a importância deste tipo de empreendimento, este trabalho apresenta um guia de implantação de PCH's com o intuito de facilitar o entendimento e futuros estudos na área seguindo as diretrizes e normas impostas pela Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), e órgãos ambientais. A exploração de um local com possível potencial hídrico é uma atividade sujeita a vários estudos preliminares tendo que levar em conta as questões ambientais, sociais e econômicas, por isso as seguintes etapas serão abordadas de acordo com as diretrizes impostas para que as características desse tipo de empreendimento sejam mantidas.

**Palavras-chave:** PCH. Energia. Geração de Energia.

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Elétrica, do Centro Universitário UNIFACVEST.

<sup>2</sup> Coordenadora e discente do curso de Engenharia Elétrica, do Centro Universitário UNIFACVEST.

# **POWER GENERATION: BASIC PROJECT OF SMALL HYDROELECTRIC CENTRAL IMPLANTATION.**

Cezar Augusto dos Santos Dahmer<sup>1</sup>

Franciéli Lima de Sá<sup>2</sup>

## **ABSTRACT**

Brazil is constantly developing to supply the country energy demand, the section must organize a reliable service, to attend the energy supply. The construction of small hydroelectric plants has been an alternative to attend this energetic demand, in a complementary and well distributed way, it is an important characteristics that minimize the social and environmental impacts, with less complexity and terms in the construction and consequently the implementation costs compared to UHE's for example. Established the importance of this type of enterprise, this paper guides for the implementation of PCH's to facilitate understanding and future studies in the area according to the rules and standards imposed by the National Electric Energy Agency (ANEEL), environmental agencies and related bibliographies. The exploration of a place with water potential is an activity subject to several preliminary studies, which take into account environmental, social and economic issues, so, according to the following steps attached in accordance with the rules imposed on these items of this enterprise are maintained.

**Keywords:** PCH. Energy. Generation. Hydroelectric

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Elétrica, do Centro Universitário UNIFACVEST.

<sup>2</sup> Coordenadora e discente do curso de Engenharia Elétrica, do Centro Universitário UNIFACVEST.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Matriz Elétrica Brasileira .....	12
Figura 2 – Thomas A. Edison .....	16
Figura 3 – Nicola Tesla (1856 - 1943). .....	17
Figura 4 – Usina de Marmelos Zero. ....	19
Figura 5 – PCH á Fio d`água .....	24
Figura 6 – PCH com Regularização do Reservatório .....	24
Figura 7 – Modelagem de trecho de um rio.....	26
Figura 8 – Esquema para transformação de energia. ....	27
Figura 9 – Barragem Usina Celso Ramos, Celesc.....	31
Figura 10 - Entrada do Canal Adutor, Usina Pery.....	32
Figura 11 Tomada de Água, Usina Pery.....	34
Figura 12 - Comporta Vagão, Usina Celso Ramos. ....	34
Figura 13 - Perca de carga devido á sujeira na entrada do conduto forçado, Usina Pery.....	35
Figura 14 - Conduto Forçado, Usina Celso Ramos. ....	36
Figura 15 - Casa de Força, Usina Celso Ramos. ....	37
Figura 16 - Turbina Pelton, Usina Bracinho.....	38
Figura 17 - Gerador Síncrono, Usina Pery. ....	39
Figura 18 - Transformador Elevador 1500 MVA, Usina Ivo Silveira.....	40
Figura 19 – Barramento singelo .....	42
Figura 20 – Subestação com barramento auxiliar .....	42
Figura 21 - Desasoreamento da Barragem, Usina Celso Ramos. ....	49
Figura 22 - Reservatório, Usina Pery. ....	53
Figura 23 – Barragem Usina Pery. ....	54
Figura 24 – Vertedouro, Usina Celso Ramos. ....	54
Figura 25 – Formas de Canal de Adução .....	55
Figura 26 – Tomada de água, Usina Celso Ramos. ....	56
Figura 27 - Chaminé de Equilíbrio, Usina Celso Ramos. ....	57
Figura 28 – Conduto forçado metálico, Usina Pery I e II.....	58
Figura 29 – Casa de força Usina Pery. ....	59
Figura 30 – Canal de fuga.....	60
Figura 31 - Conexão da Usina com Subestação(69kV), Celso Ramos .....	62
Figura 32 – Tipos de turbinas hidráulicas. ....	64

Figura 33 – Grupo óleo-hidráulico de uma turbina Francis. ....	65
Figura 34 – Tipos de válvulas de guarda. ....	66
Figura 35 – Válvula de mariposa. ....	67
Figura 36 – Válvula esférica. ....	68
Figura 37 – Comporta de Ensecadeira (Manutenção) Usina Pery. ....	69
Figura 38 – Grade de entrada do conduto adutor, Usina Pery. ....	70
Figura 39 – Limpa Grade Automático. ....	71
Figura 40 - Comporta de Ensecadeira Jusante, Usina Pery. ....	71
Figura 41 – Ponte rolante casa de força, içando Rotor do Gerador, Usina Pery. ....	72
Figura 42 – Pórtico Rolante, Tomada de água usina Pery. ....	73
Figura 43 – Monovia Curva. ....	74
Figura 44 – Sistema de água Industrial. ....	75
Figura 45– Bomba hidráulica. ....	76
Figura 46 – Sistema de ar comprimido. ....	76
Figura 47 – Sistema de exaustão. ....	77
Figura 48 – Sistema de prevenção e combate à incêndio. ....	78
Figura 49 – Sistema de tratamento de água. ....	79
Figura 50 – Sistema de separação água e óleo, Usina Pery. ....	80
Figura 51 - Gerador Síncrono, Usina Pery. ....	81
Figura 52 – Cubículos de Média Tensão. ....	82
Figura 53 – Gerador Diesel Cummins. ....	84
Figura 54 – Retificador Trifásico. ....	85
Figura 55 – Rede MODBUS. ....	87
Figura 56 – Rede DeviceNet. ....	88
Figura 57 – Transformador Elevador. ....	90
Figura 58 – Disjuntor Siemens 145 kV, Usina Pery. ....	94
Figura 59 - Chave seccionadora tripolar, Usina Celso Ramos. ....	95
Figura 60 - Transformador de Potencial e Corrente, Usina Celso Ramos. ....	98
Figura 61 - Diagrama unifilar Sistema de Medição de Faturamento. ....	99
Figura 62 – Seção transversal de um para-raios convencional a carboneto de silício. ....	100
Figura 63 - Para Raio, Usina Celso Ramos. ....	101
Figura 64 – Fases de um estudo de avaliação de impacto ambiental. ....	102



## LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
BNDS	Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CBDB	Comitê Brasileiro de Barragens
CELESC	Centrais Elétricas de Santa Catarina
CEPEL	Centro de Pesquisa de Energia Elétrica
CESP	Companhia Elétrica de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
CVRD	Companhia Vale do Rio Doce
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
ELS	Eletrobrás
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GCOI	Grupo Coordenador para Operação Interligada
GCPS	Grupo Coordenador do Planejamento do Sistema
GE	Gerador Elétrico
HP	Horse Power
LI	Licença de Instalação
LO	Licença de Operação
LP	Licença Prévia
MAE	Mercado Atacadista de Energia
MCH	Mini Central Hidrelétrica
MME	Ministério de Minas e Energia
MRE	Mecanismo de Realocação de Energia
NJ	Nível Jusante
NM	Nível Montante
O&M	Operação e Manutenção
ONS	Operador Nacional do Sistema

PBA	Projeto Básico Ambiental
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
SMF	Sistema de Medição de Faturamento
SIN	Sistema Interligado Nacional
SIPOT	Sistema de Informação do Potencial hidrelétrico Brasileiro
TC	Transformador de Corrente
TH	Turbina Hidráulica
TP	Transformador de Potencial
TIR	Taxa Interna de Retorno
UHE	Usina Hidrelétrica
UBP	Uso do Bem Público
VPL	Valor Presente Líquido

## SUMÁRIO

1.1	OBJETIVOS .....	14
1.1.1	Objetivo Geral .....	14
1.1.2	Objetivos Específicos .....	14
1.2	JUSTIFICATIVA .....	14
2	HISTÓRICO .....	16
2.1	Usinas hidrelétricas no brasil.....	18
2.2	Classificação das centrais hidrelétricas .....	22
2.3	Tipos de Pequenas centrais hidrelétricas. ....	23
2.3.1	A fio d'água .....	23
2.3.2	De Acumulação, com Regularização Diária ou Mensal do Reservatório .....	24
2.4	As principais vantagens das PCHs .....	25
3	Principais conceitos e princípio de funcionamento das Pequenas Centrais Hidrelétricas	26
3.1	Princípio de funcionamento .....	26
3.2	Estruturas e equipamentos de uma PCH.....	30
3.3	Barragem: .....	30
3.4	Obras de Adução: .....	31
3.4.1	Canal: .....	32
3.4.2	Túnel: .....	33
<b>3.5</b>	Tomada de Água: .....	33
3.6	Comportas .....	34
3.7	Perdas de Carga .....	35
3.8	Conduitos Forçados .....	36
3.8.1	Diretrizes para selecionar um conduto forçado .....	36
3.9	Casa de Força.....	37
3.10	Turbinas .....	38
3.11	Geradores .....	39
3.12	Transformadores principais .....	40
3.13	Equipamentos auxiliares .....	41
3.14	Subestação da Usina .....	41
4	Projeto Básico de Engenharia de PCH's .....	43
4.1	Critérios de Projeto .....	44
4.1.1	Aspectos gerais .....	44

4.1.2	Critérios de Arranjo .....	45
4.1.3	Critérios Hidrológicos .....	45
4.1.3.1	Fisiografia da bacia.....	46
4.1.3.2	Curva-chave.....	46
4.1.3.3	Vazões médias mensais .....	46
4.1.3.4	Estudo de Vazões Estrema .....	47
4.1.3.5	Vazões Mínimas .....	48
4.1.3.6	Avaliação Sedimentatória.....	48
4.1.3.6.1	Análise dos dados sedimentométricos:.....	49
4.1.4	Critérios Energéticos (Cálculo de Potência da Usina).....	50
4.1.5	Critérios geológicos e geotécnicos .....	51
4.1.6	Estudos de Impacto Ambiental (EIA) .....	51
4.1.6.1	Projeto Básico Ambiental (PBA) .....	52
4.2	Detalhamento do Projeto .....	52
4.2.1	Concepção Geral do Projeto .....	52
4.2.2	Reservatório.....	52
4.2.3	Barragem .....	53
4.2.4	Vertedouro .....	54
4.2.5	Circuito hidráulico de adução.....	55
4.2.5.1	Canal de Adução.....	55
4.2.5.2	Tomada de água.....	56
4.2.5.3	Chaminé de equilíbrio .....	56
4.2.5.4	Conduitos forçados .....	57
4.2.5.5	Casa de Força.....	58
4.2.6	Canal de fuga .....	59
4.2.7	Conexão Da Usina Ao Sistema Elétrico.....	60
4.2.8	Equipamentos e Sistemas mecânicos .....	63
4.2.9	Turbinas .....	63
4.2.9.1	Reguladores de Velocidade .....	64
4.2.9.2	Válvulas .....	65
4.2.10	Equipamentos Hidromecânicos .....	68
4.2.10.1	Comporta ensecadeira: .....	68
4.2.10.2	Grades tomada d`água .....	69

4.2.10.3	Limpa Grade .....	70
4.2.10.4	Comportas de ensecadeiras tubo de sucção .....	70
4.2.11	Equipamentos de Levantamento.....	72
4.2.11.1	Ponte rolante principal casa de força .....	72
4.2.11.2	Talha elétrica de acionamento das comportas e grades da tomada d`água (ponte rolante).....	73
4.2.11.3	Talha elétrica de acionamento do tubo se sucção (monovia) .....	73
4.2.12	Sistemas Mecânicos Auxiliares .....	74
4.2.13	Sistema de água Industrial .....	74
4.2.13.1	Sistema de drenagem .....	75
4.2.13.2	Sistema de ar comprimido de serviço .....	76
4.2.13.3	Sistema de exaustão e ar condicionado .....	77
4.2.13.4	Sistema de proteção contra incêndio .....	77
4.2.13.5	Sistema de água tratada .....	78
4.2.13.6	Sistema de esgoto sanitário.....	79
4.2.13.7	Sistema de separação de água/óleo.....	79
4.2.14	Equipamentos e Sistemas Elétricos .....	80
4.2.14.1	Gerador e Equipamentos associados .....	80
4.2.14.2	Cubículos de média tensão .....	81
4.2.14.3	Sistema de Supervisão, controle e Proteção. ....	82
4.2.14.4	Sistema Auxiliares elétricos de CC .....	85
4.2.14.5	Sistema de Telecomunicações .....	86
4.2.14.6	Circuito fechado de TV (CFTV) .....	88
4.2.14.7	Sistema de Aterramento, Iluminação, tomadas .....	88
4.2.15	Subestação Elevadora .....	89
4.2.15.1	Transformador Elevador .....	89
4.2.15.2	Disjuntores .....	92
4.2.15.3	Chave seccionadora .....	95
4.2.15.4	Transformador de potencial, transformador de corrente .....	96
4.2.15.5	Medição de faturamento .....	98
4.2.15.6	Para-raios .....	99
5	Estudo de Impactos Ambientais .....	102
5.1	Efeitos positivos do ponto de vista ambiental .....	104

6	Aspectos Econômicos.....	106
7	CONCLUSÃO.....	110
	REFERÊNCIAS .....	111

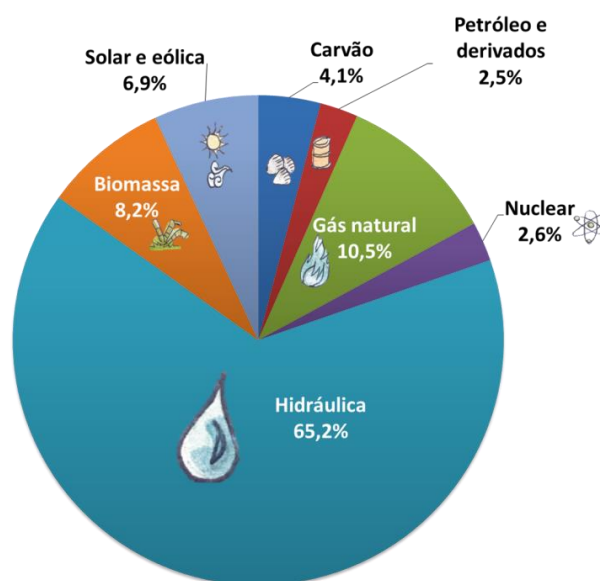
## 1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica está diretamente ligada ao desenvolvimento econômico e social do Brasil, pois atende as necessidades humanas como transporte, alimentação, saúde, segurança e lazer. Desta forma o aumento planejado da geração de energia é necessário a fim de suprir essas necessidades de forma confiável, segura e de qualidade.

Atualmente com o avanço da tecnologia há varias formas de geração como as usinas termoelétricas, nucleares, hidrelétricas, solares, eólicas e tantas outras que dia a pós dia vem surgindo, porem não se pode falar em desenvolvimento e esquecer o meio ambiente e é por esse motivo que o torna tão desafiador a busca da sustentabilidade na geração de energia elétrica.

O enorme potencial hídrico que o Brasil possui continua sendo utilizado na geração de energia, como se pode verificar na Figura 1, contudo as construções de grandes usinas hidrelétricas são ambientalmente desastrosas por afetarem grandes áreas de alagados e destruírem a fauna e flora da região onde esses empreendimentos são construídos. As termoelétricas além de poluírem de forma significativa o meio ambiente por emitirem CO2 na atmosfera, tornam a energia mais cara por ter custos na geração, as Eólicas e solares oscilam muito durante o dia não sendo então confiáveis para o sistema interligado Nacional – SIN. Uma solução para que esse potencial hídrico continue sendo aproveitado de forma mais sustentável é o investimento na construção de Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCH.

Figura 1 – Matriz Elétrica Brasileira



Fonte: Matriz Elétrica Brasileira 2017 (BEN, 2018).

As PCH's são usinas geradoras de pequeno porte, empregadas em rios de pequenos e médio porte que apresentam em seu leito características como desníveis capazes de fornecer um potencial hídrico de forma a acionar os rotores das turbinas e conseqüentemente gerar energia.

Segundo a ANEEL, são considerados empreendimentos com características de PCH aqueles empreendimentos destinados a autoprodução ou produção independente de energia elétrica, cuja potência seja superior a 5.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW e com área de reservatório de até 13 km<sup>2</sup>, excluindo a calha do leito regular do rio. (resolução normativa nº 673, de 4 de agosto de 2015, art 2).

Seu funcionamento é muito parecido com uma UHE, porém o tamanho dos equipamentos hidromecânicos, elétricos e hidráulicos são bem reduzidos, facilitando assim na fabricação, transporte e tempo de construção. Essas características interferem diretamente nos custos de implantação deste tipo de empreendimento.

A exploração de um local com possível potencial hídrico é uma atividade sujeita a vários estudos preliminares tendo que levar em conta as questões ambientais, sociais e econômicas, por isso as seguintes etapas serão abordadas de acordo com as diretrizes impostas para que as características desse tipo de empreendimento sejam mantidas:

- a) Levantamento de estudos básicos, alternativas de arranjo e tipos de estruturas;
- b) Estudos topográficos;
- c) Projeto de obra civil e dos equipamentos eletromecânicos (determinação da queda líquida com maior precisão, utilizando-se as fórmulas tradicionais para cálculos das perdas de carga ao longo do circuito hidráulico de adução);
- d) Elaboração de estudos energéticos definitivos e determinação da potencia instalada, demonstração de cálculos e formulas utilizada;
- e) Equipamentos eletromecânicos principais, de forma a citar e explicar seu funcionamento;
- f) Estudos e planejamento de construção e montagem, estudos ambientais, operação e manutenção obtendo assim uma estimativa de custos do empreendimento.

Todas as etapas de estudo e metodologia serão abordadas nos capítulos seguintes deste trabalho, buscando apresenta-las de forma simples para fácil entendimento, dando enfoque nos equipamentos elétricos, sistema de proteção e controle que torna a geração de energia confiável e de qualidade para todos.



## 1.1 OBJETIVOS

Para a realização deste trabalho de conclusão de curso será abordado com os seguintes objetivos propostos a seguir:

### 1.1.1 Objetivo Geral

Elaborar um guia de implantação para pequenas centrais hidrelétricas (PCH), a fim de demonstrar como funciona a legislação Brasileira e os processos legais necessários para a construção deste tipo de empreendimento, explicando como funciona a elaboração de um projeto básico, estudos preliminares e funcionamento dos equipamentos elétricos e mecânicos.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Compreender a legislação pertinente que engloba a implantação deste empreendimento;
- Expor as fases de estudo que antecedem o projeto: topológicos, geológicos, ambientais, hidrológicos, energéticos etc.;
- Demonstrar o funcionamento dos equipamentos elétricos e mecânicos, sua função em uma PCH;
- Analisar os riscos e gestão do patrimônio;
- Atrair novos empreendedores.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A eletricidade desempenha um papel fundamental na vida das pessoas, não apenas no que se diz respeito a lazer e diversão, mas sim em setores de extrema necessidade como segurança, saúde e alimentação que dependem diretamente que a energia chegue de forma confiável para manter esses sistemas funcionando.

Visando o desenvolvimento do setor elétrico de forma sustentável, rápida e distribuída à implantação de Pequenas Centrais hidrelétricas pode ser a solução para que o Sistema Interligado Nacional (SIN) continue a suprir os consumidores de forma confiável, segura e com qualidade.

Conseguir utilizar o recurso hídrico brasileiro sem afetar o meio ambiente certamente é

uma ótima opção, por esse motivo que os processos burocráticos são menos complexos e hábeis em comparação a UHE`s.

Por se tratar de uma construção com dimensões menores o tempo de execução é rápido, o transporte e fabricação dos equipamentos são facilitados reduzindo os custos, pode-se optar por dar preferencia à indústria local de forma a valorizar nossa tecnologia e mão de obra alavancando a economia na região.

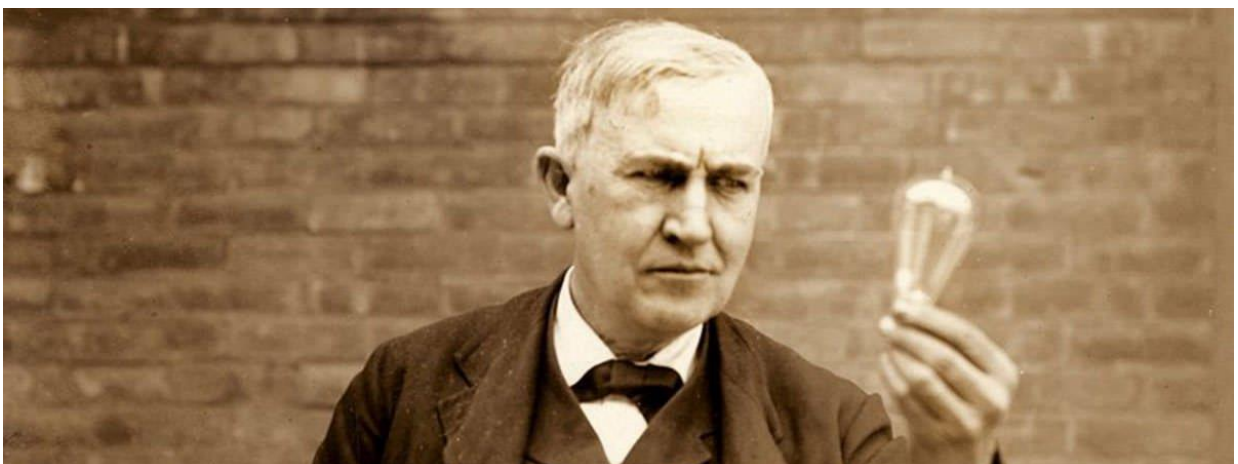
## 2 HISTÓRICO

O desenvolvimento dos princípios da eletricidade ocorreu entre os anos de 1750 e 1850 marcados por nomes como Benjamim Franklin, Volta, Faraday, Coulomb, Gauss entre outros, neste mesmo período foi inventado a bateria elétrica, gerador e motor (1831).

A eletricidade então começou a tomar um rumo no sentido da comercialização, que teve início em 1870 com a lâmpada a arco utilizada para iluminação pública. Nesta época a energia elétrica era novidade, não havia equipamentos e aparelhos movidos á eletricidade como nos dias atuais, por isso o objetivo era basicamente a iluminação pública e de residências, mesmo a geração sendo limitada a fornecer energia apenas para esse fim ocorria interrupções constantes no seu fornecimento.

Thomas A. Edison, Figura 2, impulsionou o desenvolvimento da energia elétrica com a invenção da lâmpada incandescente, sendo considerado o primeiro a usar a eletricidade como um sistema de potência, e isso se deu com a iluminação da histórica Pearl Street Station NY. (1881), não pode-se deixar de citar que a forma de geração adotada por Edison era em corrente contínua CC, fornecida por geradores CC ou dínamos (como eram chamados na época), em que esses geradores utilizavam motores a vapor acoplados ao eixo para fornecer energia mecânica que movimentava o rotor, e por fim induzia corrente elétrica nas bobinas do gerador. Com isso motores CC foram criados e alavancaram a Edison Electric Company.

Figura 2 – Thomas A. Edison



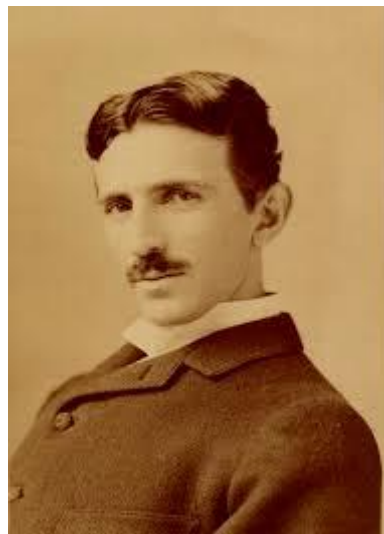
Fonte: Bibliografc (2018).

A energia em CC era segura, porém a tensão utilizada na carga era a mesma da geração, por esse motivo a distância entre a geração e a carga se tornou um obstáculo para o sistema de Edison, para evitar as perdas elétricas condutores com bitolas maiores eram necessários,

inviabilizando novas extensões e ainda sendo necessária a construção de novas centrais próxima de si, o potencial de geração hidráulica ficava distante dos centros consumidores, então a solução era encontrar uma forma de elevar essa tensão de transmissão, solução essa que surgiu em corrente alternada (CA).

A corrente alternada iniciou após a invenção do transformador, criada pelo Frances Lucien Gaulard (1850-1888) e pelo inglês John Dixon Gibbs, que logo foi vendida para a companhia Americana Westinghouse com o objetivo de promover um aperfeiçoamento do sistema, e posteriormente a comercialização. É nesse contexto que o nome de famoso cientista Nicola Tesla (1856-1943), Figura 3, surgiu, colaborando com o desenvolvimento de sistemas polifásicos entre outras patentes como de motores, geradores, transformadores e sistemas de transmissão em CA, essas invenções foram tão revolucionárias que são utilizadas até os dias de hoje.

Figura 3 – Nicola Tesla (1856 - 1943).



Fonte: Tesla Universe (2019).

A famosa “Guerra das correntes” havia iniciado, a discussão para decidir qual seria a melhor forma de gerar, transmitir e distribuir a energia e por fim padronizá-la, era uma disputa liderada pelas companhias Edison Electric Company e a Westinghouse.

Essa disputa durou anos, várias invenções surgiram e a eletricidade avançou de forma rápida e extraordinária, mas no fim a CA venceu a disputa, pois a possibilidade de transmitir em alta tensão por longas distâncias e a fácil transformação era de longe mais viável economicamente.

Por fim a energia gerada em corrente alternada foi definida como padrão e os recursos hídricos poderiam ser aproveitados de forma mais eficientes. Inicia-se então as construções de

usinas hidrelétricas como principal forma de geração. (Pinto, 2018).

É evidente que até a chegada das turbinas hidráulicas mais modernas ocorreu um longo processo de desenvolvimento tecnológico.

O mais antigo projeto de usina hidrelétrica teria data de 1878, em Craggsde (em Northumberland, Inglaterra), a partir de um esquema do cientista e engenheiro inglês George Armstrong (1810-1900), a primeira usina hidrelétrica do mundo foi construída junto as quedas d'água das cataratas do Niágara, na fronteira entre EUA e CAN (1879). (PINTO, pag 24, 2018).

A utilização do potencial hídrico é uma das melhores, mais baratas e limpas fontes de energia elétrica, levando em consideração aspectos sociais, ambientais e econômicos que envolvem o projeto.

Milton Pinto diz que, o termo hidroeletricidade se refere a geração de eletricidade por meio de conversão de energia cinética da água em energia potencial mecânica, que aciona um conjunto turbina-gerador e assim, produzirá eletricidade. (PINTO, 2018).

## 2.1 USINAS HIDRELÉTRICAS NO BRASIL

No Brasil as primeiras formas de geração de energia também foram através das fontes hídricas, essa opção se deu também por ser um país com uma hidrografia extensa e propensa para a geração de energia.

Nesta época, o Brasil era explorado principalmente na extração de diamantes, ouro e outros metais preciosos e foi em meio a esse cenário que se iniciou a utilização da eletricidade, usada principalmente para iluminação e bombeamento de água.

De acordo com Pereira, no Brasil a primeira usina hidrelétrica entrou em operação em 1883, ela foi construída no Ribeirão do Inferno, afluente do rio Jequitinhonha, na cidade de Diamantina MG. Foi instalado numa queda de cinco metros e possuía dois dínamos Gramme de 8HP cada, que geravam energia capaz de movimentar bombas d'água, mais tarde a usina passou a gerar energia para abastecimento da cidade, a linha de transmissão a ela associada era de 3km de extensão (Pereira, pag. 27, 2015).

Com o passar dos anos mais usinas foram instaladas sempre a fim de aproveitar os recursos hídricos Brasileiros. Em 1887, no rio dos Macacos MG, foi colocada em operação uma usina de 500 HP, sob uma queda de 40m para atender uma mineração de ouro e para a iluminação.

Dois anos depois em 1889, entrou em operação a Usina de Marmelos Zero, Figura 4 nela foram instalados dois grupos geradores com potencia de 126 kW cada. Em 1891, foi ampliada com um terceiro gerador de 125 kW para fins industriais.

Figura 4 – Usina de Marmelos Zero.



Fonte: CEMIG (2018).

Neste momento da evolução a comercialização de energia já ganhava força, e o próximo passo seria o desenvolvimento através da indústria, surgindo empresas prestadoras de serviço como a Light Serviços de Eletricidade S.A, que foi fundada em 30 de maio de 1905 no Rio de Janeiro, era dirigida pelo advogado Canadense Alexander Mackenzie e pelo engenheiro Americano Frederick Stark Pearson (CBDB, 2011).

Em 1908, inaugurou a UHE Fontes Velha, com 12 MW de potencia, a maior da América latina e segunda maior do mundo na época, em 1909 foi concluída sua ampliação para 24MW (CBDB, 2011). Mais tarde a mesma ainda sofre mais uma ampliação para 54MW.

Em 1924, foi construída a UHE Ilha dos Pombos, a usina tem um canal com 2,5 km de comprimento, construída por diques de terra compactada e trechos em concreto. O vertedouro principal tem três comportas tipo setor, com vão de 45 m por 7,40m de altura e área de 333 metros quadrados. (CBDB, 2001, ERBISTI, 2002).

Em 1940, a Light foi autorizada a ampliar a usina de Lages, com mais três unidades geradoras de 39 MW elevando a potencia instalada para 172 MW.

Com o passar do tempo novas companhias foram sendo criadas, tanto estaduais, quanto federais (Vale do Rio Doce, CHESF, Cemig, etc.). A partir da criação da Eletrobrás em 1961,

a instalação de hidrelétricas no Brasil tomou maior impulso. Em 1995, ocorreu a reestruturação do setor elétrico, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) foi criada em 1996 e o Operador Nacional do Sistema (ONS), em 1998. A Empresa de pesquisa energética (EPE), vinculada ao Ministério das Minas e Energia, foi criada em 2004.

Os eventos de energia elétrica no Brasil foram bem marcantes, pode-se acompanhar toda essa evolução na linha do tempo retirada do livro “Projeto de Usinas Hidrelétricas passo a passo”, de Geraldo Magela Pereira, entre os anos de 1889 á 2010.

1889 – Primeira UHE, então de grande porte, Marmelos Zero. Cia Mineira de Metais;

1892 – Primeira linha de bondes elétricos do Rio de Janeiro;

1903 – Congresso aprova texto disciplinado o uso da energia elétrica;

1905 – Em 30/05 é criada a The Rio de Janeiro Light and Power Co. Ltd. ;

1908 – Inauguração da UHE Fontes Velha RJ, 12 MW;

1909 – Concluída a ampliação de Fontes Velhas para 24 MW;

1912 – Unificação da Light RJ-SP. Companhia Paulista de força e luz (CPFL);

1913 – UHE Delmiro Gouveia, a primeira hidrelétrica da cachoeira de Paulo Afonso no rio São Francisco (BA).

1920 – Capacidade instalada atinge 360 MW.

1924 – Inauguração da UHE Ilha dos Pombos;

1930 – Capacidade instalada atinge 780 MW;

1934 – Edição do código das águas;

1940 – Capacidade Instalada 1250 MW;

1941 – Companhia Siderúrgica Nacional (CSN);

1942 – Companhia Vale do Rio Doce (CVRD);

1943 – Ano de início da criação das companhias estaduais e federais de energia;

1945 – Companhia Hidro Elétrica de são Francisco, início do projeto de Paulo Afonso;

1950 – Capacidade instalada atinge 1900 MW;

1952 – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDS), Centrais Elétricas de Minas Gerais (Cemig);

1953 – Usinas Hidrelétricas do Rio Paranaparema (Uselpa);

1954 – UHE Paulo Afonso 1 em operação, Centrais Elétricas de Santa Catarina (Celesc);

1955 – Companhia Hidrelétrica do Rio Pardo (cherp), e Centrais hidrelétricas do Urubupungá (Celusa), Centrais Elétricas de Goiás (Celg);

1956 – Espírito Santo Centrais elétricas (Escelsa);

- 1957 – Furnas (Iniciam-se os projetos de Porto Colômbia, Marimbondo, Estreito e Volta Grande);
- 1960 – Capacidade Instalada Atinge 4.800 MW, Ministério de Minas e Energia;
- 1961 – Eletrobrás Centrais Elétricas Brasileiras S.A (ELB);
- 1962 – Canambra executou estudos no Brasil;
- 1963 – UHE Furnas ligando MG-RJ-SP
- 1965 – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE);
- 1966 – Companhia Energética de São Paulo (Cesp);
- 1968 – Eletrosul (ELS), UTE Santa Cruz, Comitê coordenador de estudos Energéticos da Amazônia (Eneram);
- 1969 – Grupo Coordenador para Operação Interligada (GCOI);
- 1970 – Capacidade Instalada atinge 11.460 MW;
- 1973 – Itaipu, Eletronorte, Nuclebrás, Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (Cepel);
- 1979 – Light nacionalizada, UHE Sobradinho;
- 1980 – Capacidade Instalada atinge 31.300 MW;
- 1982 – Grupo coordenador Do Planejamento do Sistema (GCPS);
- 1984 – UHE Itaipu, UHE Tucuruí;
- 1985 – Usina Nuclear Angra 1;
- 1990 – Capacidade Instalada atinge 53.000 MW;
- 1995 – Iniciam-se os Leilões de Privatização;
- 1996 – Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL);
- 1997 – Eletronuclear;
- 1998 – Mercado Atacadista de Energia (MAE), Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS);
- 2000 – Capacidade Instalada Atinge 72.200 MW, UHE Itá, programa prioritário de UTEs;
- 2001 – Crise, Racionamento, UHE Lajeado;
- 2002 – UHE Canabrava, UHE Machadinho;
- 2003 – Capacidade Instalada atinge 77.300 MW;
- 2004 – Empresa de Pesquisa Energética (EPE - MME);
- 2005 – Companhia Energética do Rio das Antas (Ceran);
- 2007 – UHE Campos Novos, UHE Barra Grande;
- 2010 – Capacidade instalada atinge 78.658 MW.

Como pode-se perceber analisando os eventos elétricos marcantes que ocorreram no



Brasil, nota-se que o sistema elétrico Brasileiro é recente, seu desenvolvimento é notável e bem estruturado, a criação de agentes reguladores e órgãos estruturou o setor, visando o aumento consciente da geração, fiscalização e venda de energia elétrica a fim de atender com excelência os consumidores, proporcionando confiabilidade, qualidade e segurança na utilização deste recurso que é de fundamental importância para um país.

## 2.2 CLASSIFICAÇÃO DAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

Segundo Souza, Santos e Bortoni (2009), a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) classifica as usinas de acordo com sua potência e da seguinte maneira:

Minicentral Hidrelétrica (MCH) para centrais com potência de até 1 MW, que ficam sob inteira responsabilidade dos interessados, pessoa física ou jurídica que obtenha licença ambiental. A Pequena Central Hidrelétrica (PCH) são as centrais hidrelétricas com potência entre 5 MW e 30 MW e cujo reservatório tenha no máximo 13 Km<sup>2</sup>. Pode ser gerida por produtor independente, pessoa jurídica que recebe concessão para produzir energia elétrica para comércio por sua conta e risco, ou por autoprodutor, que pode ser pessoa física ou jurídica que recebe concessão para produzir energia elétrica para seu uso exclusivo, podendo comercializar o excedente com autorização especial da ANEEL. A Usina Hidrelétrica (UHE) ou Grande Central Hidrelétrica são centrais hidrelétricas com potência superior a 30 MW, gerida por pessoa física ou jurídica que receba concessão após processo licitatório.

A resolução ainda adota alguns conceitos e definições:

- a) Área do reservatório: área da planta à montante do barramento, delimitada pelo nível d'água máximo normal de montante;
- b) Nível d'água máximo normal de montante: nível de água máximo no reservatório para fins de operação normal da usina, definido através dos estudos energéticos, correspondendo ao nível que limita a parte superior do volume útil;
- c) Nível d'água mínimo normal de montante: nível de água mínimo do reservatório para fins de operação normal da usina, definido através dos estudos energéticos, correspondendo ao nível que limita a parte inferior do volume útil;
- d) Nível d'água normal de jusante: nível d'água a jusante da casa de força para a vazão correspondente ao somatório dos engolimentos máximos de todas as turbinas, sem considerar a influência da vazão vertida.

Se o aproveitamento hidrelétrico não atender a condição de área de

reservatório de 3 km<sup>2</sup>, mas respeitando os limites de potência e modalidade de exploração, será considerado com características de PCH caso se verifique as seguintes condições:

$$A \leq \frac{14,3 \times P}{Hb} \quad (1)$$

Sendo:

P = Potência elétrica instalada (MW);

A = Área do reservatório (Km<sup>2</sup>);

Hb = queda bruta em (m), definida pela diferença entre os níveis d'água máximos normal de montante e normal de jusante.

### 2.3 TIPOS DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS.

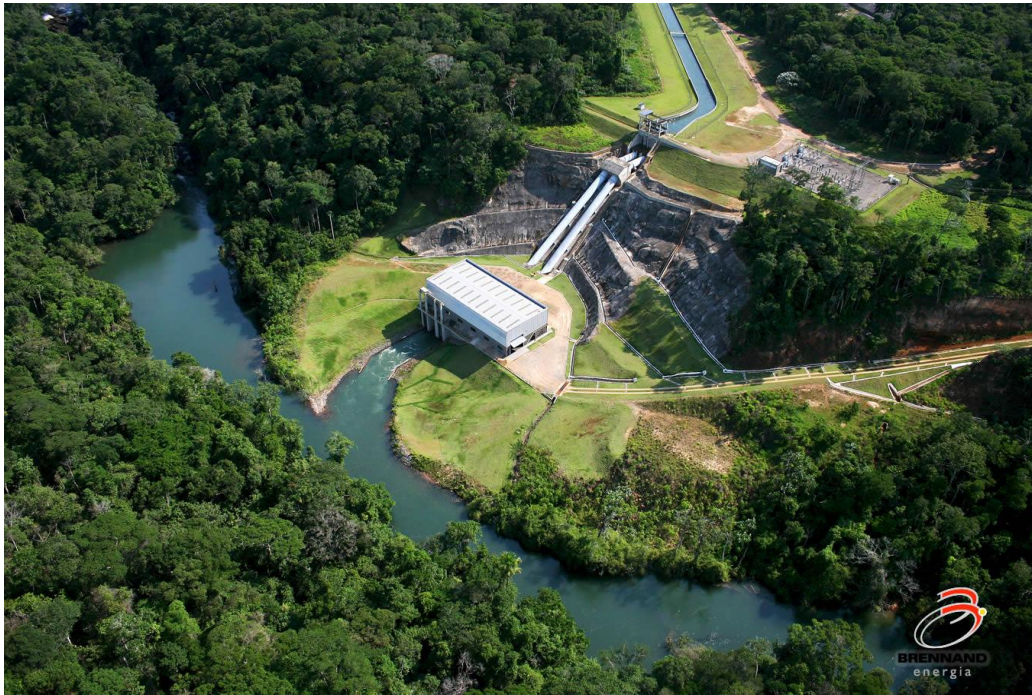
Há três tipos de PCHs, de acordo com a capacidade de regularização do reservatório:

- a) A fio d'água;
- b) de Acumulação, com Regularização Diária do Reservatório;
- c) de Acumulação, com Regularização Mensal do Reservatório.

#### 2.3.1 A fio d'água

Esse tipo de PCH é empregado quando as vazões de estiagem do rio são iguais ou maiores que a descarga necessária à potência a ser instalada para atender à demanda máxima prevista. O sistema de adução deverá ser projetado para conduzir a descarga necessária para fornecer a potência que atenda à demanda máxima. O aproveitamento energético local será parcial e o vertedouro funcionará na quase totalidade do tempo, extravasando o excesso de água. As barragens são, normalmente, baixas, pois têm a função apenas de desviar a água para o circuito de adução e como as áreas inundadas são pequenas, os valores despendidos com indenizações são reduzidos.

Figura 5 – PCH á Fio d`água



Fonte: SISo Brasil (2017).

### 2.3.2 De Acumulação, com Regularização Diária ou Mensal do Reservatório

Figura 6 – PCH com Regularização do Reservatório



Fonte: Gazeta (2017).

Esse tipo de PCH ilustrada na Figura 6, é empregado quando as vazões de estiagem do rio são inferiores à necessária para fornecer a potência para suprir a demanda máxima do mercado consumidor e ocorrem com risco superior ao adotado no projeto.

Quando o projeto de uma PCH considera dados de vazões médias mensais no seu dimensionamento energético, analisando as vazões de estiagem médias mensais, pressupõe-se uma regularização mensal das vazões médias diárias, promovida pelo reservatório.

## 2.4 AS PRINCIPAIS VANTAGENS DAS PCHS

Uma PCH já é por si só uma fonte de recurso renovável, apresentando um investimento inicial baixo se comparado ao de uma UHE de grande porte ou outras fontes. Segue então as principais vantagens:

- a) Fonte renovável e representa menor impacto ambiental já que opera a fio d'água;
- b) Geração descentralizada: melhor confiabilidade para o sistema elétrico da região onde está conectada;
- c) Reservatórios formados são pequenos;
- d) A sua localização próxima das cargas consumidoras diminui os custos com transmissão e distribuição;
- e) Como as obras são menores, demandam um tempo menor de construção, em torno de 18 a 24 meses;
- f) Diminui a emissão de gases de efeito estufa ao substituir fontes térmicas (combustíveis fósseis);
- g) Tratamento diferenciado por parte da regulamentação vigente; O tratamento diferenciado equivale;
- h) Isenção de pagamento de Uso de Bem Público (UBP);
- i) Isenção da aplicação de 1% de sua receita operacional líquida em P&D;
- j) Isenção relativa à compensação financeira pela utilização de recursos hídricos;
- k) Possibilidade de comercializar a energia elétrica produzida com consumidores cuja carga seja maior ou igual a 500 KW;
- l) Redução de no mínimo 50% no pagamento dos encargos por uso das redes de transmissão e distribuição e dispensa de licitação para obtenção da concessão, bastando o empreendedor obter autorização da ANEEL.

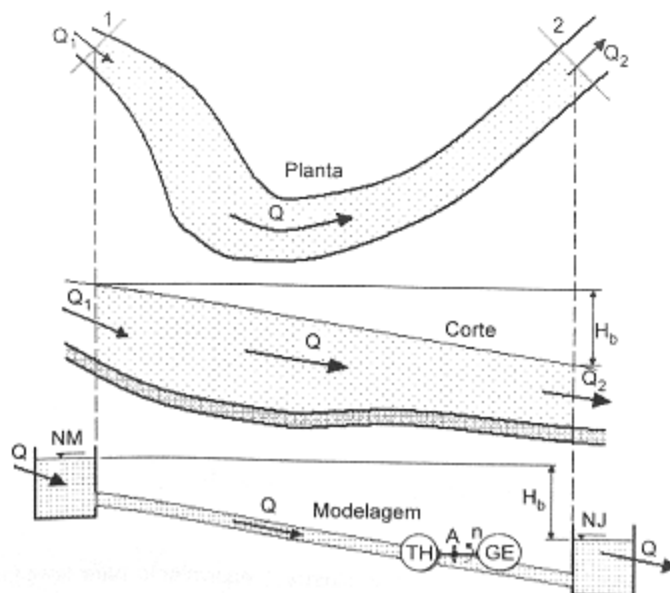
### 3 PRINCIPAIS CONCEITOS E PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DAS PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

#### 3.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

A energia que se processa na usina hidrelétrica é a energia potencial gravitacional devido à diferença de altitude do curso do rio. Esta energia se transforma em energia cinética de rotação na ação da turbina hidráulica (TH), a energia cinética é convertida em energia mecânica e finalmente é transformada em energia elétrica no gerador elétrico (GE) interligado à turbina por um acoplamento (A) (CRUZ, apud FARIAS, 2011).

Nessas transformações, para que possam ser aplicados os princípios da mecânica, precisa-se antes modelar a natureza. Nessa modelagem deve-se considerar as variações de alturas constantes ( $H$ ) e as vazões de entrada e saída também constantes ( $Q$ ). Assim pode-se imaginar dois reservatórios interligados por um conduto onde escoar a vazão devido à diferença de altura, esquema ilustrado na figura 7 (SOUZA; SANTOS; BORTONI, 2009).

Figura 7 – Modelagem de trecho de um rio

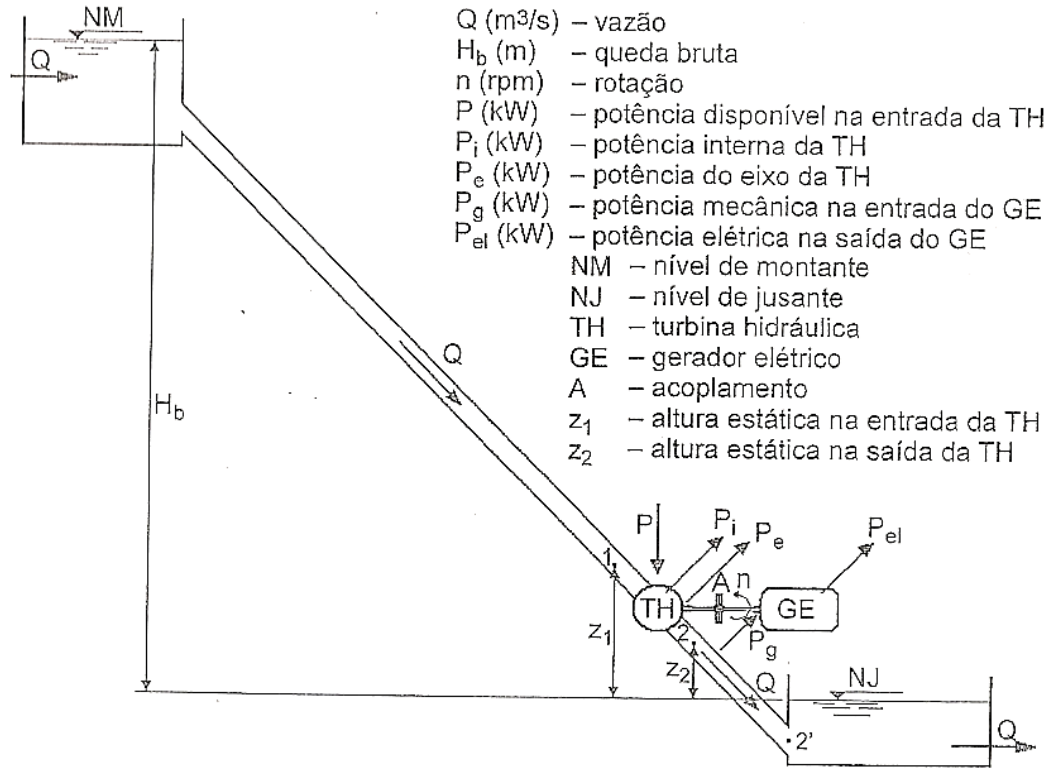


Souza; Santos; Bortoni, 2009.

A transformação de energia potencial gravitacional em energia elétrica ilustrado na

Figura 8, com os principais componentes.

Figura 8 – Esquema para transformação de energia.



Souza; Santos; Bortoni, 2009.

Segundo Souza, Santos e Bortoni (2009) “aplicando-se a este sistema os princípios da conservação da energia e da massa entre o nível de montante (NM) e o nível de jusante (NJ), tendo este último como referência, obtém-se”:

A energia hidráulica média disponível, por unidade de massa na entrada 1 e saída 2 da turbina será dada, respectivamente, por:

$$E1 = \frac{P1}{\rho} + \frac{v1^2}{2} + g \cdot Z1 \quad (2)$$

$$E2 = \frac{P2}{\rho} + \frac{v2^2}{2} + g \cdot Z2 \quad (3)$$

A energia específica hidráulica, transformada em trabalho pela turbina:

$$E1 - E2 \quad (4)$$

Para que essa energia específica seja máxima, deve-se ter:

$$\frac{P_1}{\rho} = \frac{P_a}{\rho}; V_2 = 0; Z_2 = 0 \quad (5)$$

Quando a turbina não possui tubo de sucção (turbina de ação), o trabalho específico máximo é determinado pela expressão:

$$\gamma = \frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + g \cdot (Z_1 - Z_2) \quad (6)$$

Onde:

$P_1$  = Pressão estática na saída da turbina [N / m<sup>2</sup>];

$v_1$  = velocidade média da água na saída da turbina [m / s];

$g$  = aceleração da gravidade [m / s<sup>2</sup>].

Segundo Schreiber, citado por Farias (2011), “um determinado volume d’água caindo de certa altura produz o trabalho teórico de”:

$$T = \gamma \times V \times H \text{ (t. m)} \quad (7)$$

Onde:

$T$  = trabalho teórico;

$\gamma$  = peso específico da água, 1 T/m<sup>3</sup>;

$V$  = volume d’água, em m<sup>3</sup>;

$H$  = altura da queda bruta.

A potência teórica de um aproveitamento hidrelétrico é definida por:

$$P_t = Q \times H \left[ \text{t.} \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad (8)$$

Onde:

$$Q = m^3 / s.$$

Ainda segundo do mesmo autor, a potência hidrelétrica é a energia que se fornece em um determinado intervalo de tempo e a unidade é em watt (W), ou seja, J/s. geralmente para centrais hidrelétricas utilizam-se as unidades kW, MW ou GW.

“Todavia, a transformação de energia potencial em cinética e posteriormente para mecânica e elétrica acarreta em perdas, pois estas conversões não são totalmente eficientes” (SCHEREIBER, citado por FARIAS, 2011).

Complementado por Souza, Santos e Bortoni (2009), tem-se que “a potência perdida internamente na turbina, oriunda de atrito, fugas, choques e turbulência, e seu rendimento interno são determinados por ensaios, resultando em”:

$$P_{pi} = P - P_i \quad (9)$$

$$N_i = P_i / p \quad (10)$$

Ainda segundo Souza, Santos e Bortoni (2009), “a potência perdida externamente à turbina tem origem no seu eixo, nos seus mancais, buchas e vedadores, permitindo calcular a potência perdida mecânica na turbina e o rendimento mecânico correspondente”:

$$P_m = P_i - P_e \quad (11)$$

$$N_m = P_e / P_i \quad (12)$$

A soma de  $P_{pi}$  e  $P_m$  é a potência perdida total na turbina, sendo o seu rendimento total calculado por:

$$N_t = \frac{P_s}{P} = N_i \cdot N_m \quad (13)$$



Segundo o mesmo autor, “as perdas no sistema girante não pertencem ao eixo da turbina nem do gerador elétrico e são determinadas por ensaios ou por expressões normalizadas”.

Sendo que  $\eta$  é o fator de rendimento da turbina e do gerador e  $H_{liq}$  é a queda líquida, que é a queda bruta menos as perdas de carga nos órgãos de adução, tem-se que a potência efetiva corresponde à equação 14.

$$P_{ef} = 9,81 \times n \times Q \times H_{liq} \text{ (kW)} \quad (14)$$

“Assim, a produção de energia elétrica utilizando a energia mecânica da água é um produto da queda líquida, das vazões disponíveis e do rendimento do conjunto turbina-gerador multiplicada pelo tempo” (USACE, apud FARIA, 2011).

### 3.2 ESTRUTURAS E EQUIPAMENTOS DE UMA PCH

Segundo Faria (2011), “para a compreensão de cada um dos fatores que interferem tanto no custo como no benefício de uma PCH, é necessário compreender a função das principais estruturas de um aproveitamento hidrelétrico”:

### 3.3 BARRAGEM:

“Estrutura que tem como objetivo reter a água para determinados fins, criando, artificialmente um desnível local” Figura 9 (SOUZA, citado por FARIA, 2011).

Figura 9 – Barragem Usina Celso Ramos, Celesc



(Fonte: O autor).

### 3.4 OBRAS DE ADUÇÃO:

A adução da vazão que será aproveitada para gerar energia elétrica é captada na tomada de água e levada através de um canal que pode ser a céu aberto ou ser fechado, mantendo-se a vazão pressão atmosférica.

A água captada pode conter elementos em suspensão, por isso é necessário colocar no traçado um desarenador que os elimine, o qual pode ser contíguo na tomada d'água ou acompanhar a câmara de carga.

O traçado da adução é feito visando maior eficiência, segurança e custo econômico, mantendo uma inclinação longitudinal positiva menor que o rio, e variando somente dentro de certos limites. No ponto de vista técnico está sujeito as características dos locais possíveis para as construções (Tipos de arranjos), logo no critério econômico é estabelecido pela extensão da adução, ou seja, um aproveitamento hidro energético com uma pequena inclinação, ocasiona maior extensão e maior custo.

Para selecionar alternativas de menor custo e que cumpram os requisitos técnicos, é possível reduzir a extensão da adução por meio de Túneis, aquedutos, preenchimentos ou outros tipos de obras. (Floréz, p172).

### 3.4.1 Canal:

Para usinas com arranjos de obras de derivação e desvio, com casa de força a jusante, pode existir um canal de adução clássico (Figura 10) para conduzir o escoamento de aproximação a tomada de água.

Considerando as usinas com canal clássico, seu dimensionamento hidráulico deve ser feito em sintonia com os parâmetros fixados para o projeto da tomada da água. É preciso observar os critérios de projeto especificados em Eletrobrás e CBDB(2003), resumidos a seguir.

Por segurança, o canal deve ser dimensionado para a vazão máxima turbinada, com o reservatório em seu nível de água mínimo operacional. A borda livre também deve ser dimensionada para o nível máximo.

A velocidade máxima de escoamento é definida por critérios econômicos, mas em geral é inferior a 2,5 m/s para canais escavados em rocha ou revestidos de concreto. Para canais escavados em solo, com o objetivo de evitar a erosão, as velocidades não devem superar 1,0 m/s. A declividade do canal pode ser igual a do perfil de linha de água, para o nível de água do reservatório correspondente a vazão máxima a ser escoada e a velocidade adotada. (Perreira, 2015).

Figura 10 - Entrada do Canal Adutor, Usina Pery, Curitibaanos SC.



Fonte: o Autor.

### 3.4.2 Túnel:

É uma passagem subterrânea que possibilita ou facilita o acesso a um determinado local é utilizado nos seguintes casos:

- a) Quando é mais econômico atravessar um maciço que traçar um canal por seu contorno;
- b) Quando a inclinação transversal do terreno é elevada (maior que 45 %) e o material não permite garantir a estabilidade do canal;
- c) As características mais relevantes de um túnel em uma PCH a fio d'água são:
- d) O túnel de adução de uma PCH a fio d'água trabalha a pressão atmosférica, simulando um canal aberto com uma velocidade que oscila entre 1,5 e 2,5 m/s;
- e) O túnel deve manter a inclinação do canal e seguir a distância mais curta, a qual afetada pelas condições topográficas, geológicas e geomorfológicas do terreno;
- f) A forma de seção do túnel deve ser tal que sua área permita a circulação da vazão máxima e resista as pressões;
- g) As pressões exercidas sobre o túnel determinam a forma de sua seção e o tipo de revestimento;
- h) Os túneis podem ser de forma circular, ferradura ou baú. A forma circular é a que garante a área ótima, mas é de difícil construção. A forma de baú é a mais simples de construir.

### 3.5 TOMADA DE ÁGUA:

“Estrutura destinada a captar a água para o conduto forçado ou canal/túnel de adução” (FARIA, 2011).

É uma estrutura de transição entre um escoamento livre no reservatório e um escoamento constringido no conduto forçado, em cuja seção a velocidade deve ser baixa para limitar os esforços e a perda de carga (Figura 11).

Na concepção, deve-se buscar uma estrutura com geometria que receba e acomode o escoamento de forma uniforme, sem vorticidades, e promova uma aceleração progressiva e gradual do fluxo, de tal forma que obtenha o melhor rendimento da turbina. Isso é especialmente importante para as usinas de baixa queda que utilizam máquinas horizontais, em que a distância entre a tomada de água e a turbina é pequena.

Figura 11 Tomada de Água, Usina Pery, Curitibaanos SC.



Fonte: O Autor.

### 3.6 COMPORTAS

Figura 12 - Comporta Vagão, Usina Celso Ramos, Faxinal dos Guedes SC.



(Fonte: O Autor).

Referente a Figura 12, “Dispositivo mecânico para controlar vazões hidráulicas em qualquer conduto livre ou forçado de cuja estrutura o conduto independe para sua continuidade física e operacional” (SOUZA; SANTOS; BORTONI, 2009).

Segundo Souza, Santos e Bortoni (2009), as comportas são classificadas em função do tipo de movimento quando em operação, podendo ser de translação, de rotação ou de translorotação.

### 3.7 PERDAS DE CARGA

As perdas de carga na tomada de água incorporam a perda nas grades e na estrutura de concreto até a entrada do conduto forçado, Figura 13, incluindo a perda nas ranhuras das comportas. Muitas vezes essas perdas ocorrem a objetos presos entre os vãos das grades impedindo a passagem da água de forma uniforme, aumentando a vibração e possível quebra das hastes metálicas. (Perreira, 2015, p 303).

Figura 13 - Perca de carga devido á sujeira na entrada do conduto forçado, Usina Pery, Curitibaanos SC.



Fonte: O Autor.

### 3.8 CONDUTOS FORÇADOS

“Liga a tomada d’água à casa de força funcionando sob pressão. Os condutos forçados podem ser externos ou em túneis” (MME, citado por FARIA, 2011).

A adução forçada se encarrega de levar as águas da câmara de carga até as turbinas, nelas a energia cinética é transformada em energia mecânica. É configurada pelo conduto forçado , seus acessórios e por um sistema de sustentação e suspensão (Figura 14).

Figura 14 - Conduto Forçado, Usina Celso Ramos.



(Fonte: O Autor).

#### 3.8.1 Diretrizes para selecionar um conduto forçado

As diretrizes a seguir são uma recomendação para selecionar as características do conduto forçado para uma PCH.

- a) Considerar os diferentes tipos de material disponível e os tipos de conexões, comparar formas e custos de manutenção, anotar diâmetros de conduto e espessuras de paredes disponíveis;
- b) Calcular a perda de altura por atrito de 4% a 10% para uma série de materiais e diâmetros;
- c) Tabular os resultados;

- d) Calcular a provável pressão adicional por golpe da água ao conduto forçado somada a pressão estática;
- e) Calcular espessuras de parede adequadas para os tamanhos de conduto que se preferiam tabular;
- f) Desenhar os suportes, ancoragens e conexões para o conduto forçado;
- g) Preparar uma tabela de opções calculando o custo total de cada uma e ver os componentes disponíveis no mercado.

### 3.9 CASA DE FORÇA

Figura 15 - Casa de Força, Usina Celso Ramos, Faxinal dos Guedes SC.



(Fonte: O Autor).

A casa de força, Figura 15, tem a finalidade de alojar as máquinas e os equipamentos, bem como possibilitar sua montagem, desmontagem, operação e manutenção. As dimensões do local são determinadas pelas dimensões das máquinas que serão alojadas, sendo que o comprimento depende da turbina, que possui a espiral maior que o gerador, e esse, em geral, determina a largura da casa de força. (SCHREIBER, 1977). “Ela deve ser o suficiente para abrigar todos os equipamentos hidráulico e elétrico, tais como: turbina, regulador de velocidade, gerador, quadro de comando, transformador elevador com a devida proteção” (SÁ, 2009).

Nas usinas de queda alta, em que a água é conduzida por tubulações forçadas, a casa de



força fica separada de outras construções e nas de queda baixa está encostada ao pé da barragem (SCHREIBER, 1977).

No arranjo da unidade geradora, o eixo da unidade turbina-gerador pode ter posição horizontal ou vertical, sendo a horizontal normalmente apenas em unidades pequenas. Essa escolha se dá por razões técnicas de algumas turbinas e em outras, a posição vertical também ocupam menos espaço (SCHREIBER, 1977).

### 3.10 TURBINAS

Figura 16 - Turbina Pelton, Usina Bracinho, Schroeder SC.



(Fonte: O Autor).

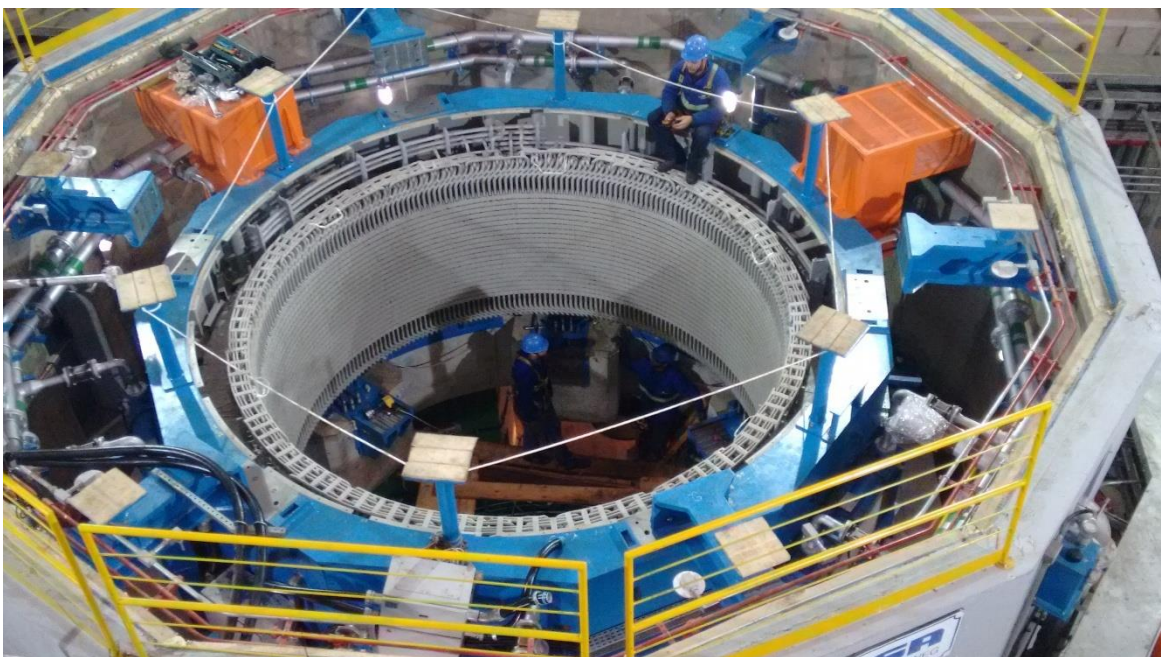
Nas hidrelétricas são usadas dois tipos de turbina, as de reação e as de ação. Na turbina de reação o ‘o trabalho mecânico é obtido pela transformação da energia cinética e de pressão da água, em escoamento através das partes girantes’ e as de reação transformam somente a energia cinética da água (SCHREIBER, 1977).

“As turbinas de reação são do tipo Francis e turbinas Kaplan. As turbinas de ação são do tipo Pelton (Figura 16)” (SCHREIBER, 1977).

### 3.11 GERADORES

“O gerador transforma a energia mecânica produzida pela turbina em energia elétrica, Figura 17, sendo composto da parte fixa, o estator, e da parte rotativa, o rotor. O estator deve ser ancorado no concreto da casa de força, para poder resistir ao momento de torção” (SCHREIBER, 1977).

Figura 17 - Gerador Síncrono, Usina Pery, Curitiba SC.



(Fonte: O Autor).

Os polos do rotor, magnetizados por corrente contínua, passam pelas bobinas do estator, induzindo nelas a corrente alternada. A corrente contínua é gerada colocando-se no rotor principal um gerador auxiliar, no qual é ligado, eletricamente, um motor de corrente alternada acoplado a um dínamo que fornece a corrente para a excitação do gerador principal (SCHREIBER, 1977).

As perdas no gerador acontecem normalmente pelo calor gerado. Para o resfriamento, o rotor é equipado com aletas que fazem o ar circular e pode haver ainda radiadores montados na circunferência externa, refrigerados a água (SCHREIBER, 1977).

O gerador é ligado ao transformador, que eleva a tensão ao nível de transmissão. Essa ligação pode ser feita por cabos para potências de até 50 MVA. Acima desta, devem ser usados barramentos, pois as seções dos cabos seriam muito grandes (SCHREIBER, 1977).

Na montagem do gerador, o estator normalmente chega em partes e são colocados no poço do gerador fixados por parafusos ou solda e feitas às ligações elétricas. O rotor é transportado inteiro e colocado dentro do estator. Para essa operação, na casa de força, são previstas pontes rolantes (SCHREIBER, 1977).

### 3.12 TRANSFORMADORES PRINCIPAIS

“Teoricamente os transformadores pertencem ao sistema de transmissão e geração e não ao sistema de geração de energia. Porém, em geral, o gerador está ligado ao transformador e os dois formam, assim, um bloco” (SCHREIBER, 1977).

Figura 18 - Transformador Elevador 1500 MVA, Usina Ivo Silveira, Campos Novos SC.



Fonte: O Autor.

“Os transformadores podem ser trifásicos ou monofásicos e fazem parte das máquinas que compõem a casa de força” (SCHREIBER, 1977).

O transformador deve ser constantemente resfriado. Para isso, e para uma redução de tamanho do equipamento, usa-se ventilação forçada dos radiadores que compõe a carcaça do

transformador. Para uma redução ainda maior nas dimensões, usa-se a água como meio resfriador (SCHREIBER, 1977).

“Os transformadores são colocados sobre poços que recolhem o óleo que eventualmente saia dos mesmos, e conduzem-no por tubulações até um poço com separador de óleo para evitar a poluição fluvial” (SCHREIBER, 1977).

### 3.13 EQUIPAMENTOS AUXILIARES

“As turbinas, os geradores e os transformadores representam as peças grandes e principais das instalações na casa de força, mas para sua operação precisa-se de instalações secundárias que devem ser levadas em conta no projeto” (SCHREIBER, 1977).

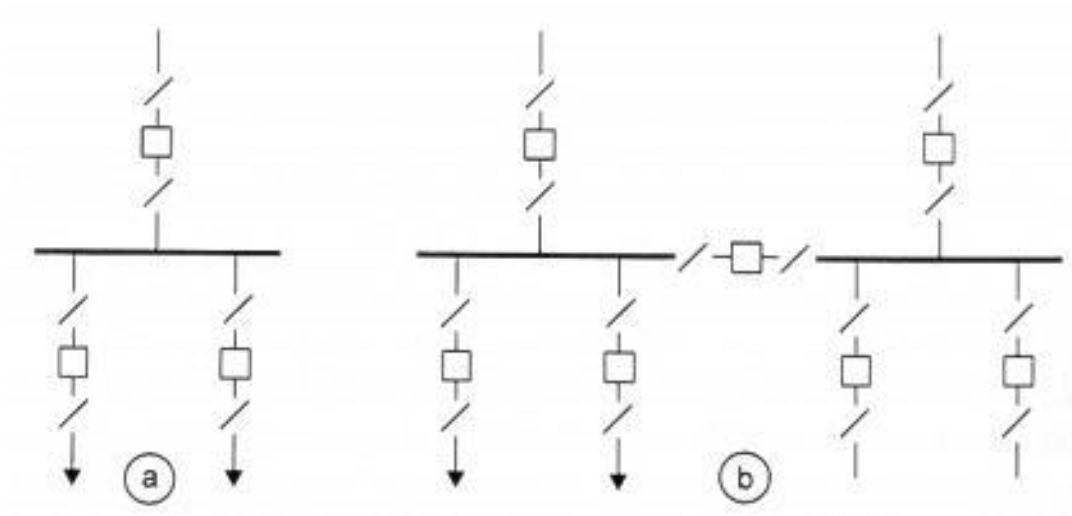
Os equipamentos auxiliares são: pontes rolantes ou guindastes pórticos que servem como meio de transporte, montagem e desmontagem dos equipamentos; o sistema de abastecimento d'água para refrigeração com uso de filtros grossos que retém corpos flutuantes, para as instalações contra incêndio e para água potável que necessita de tratamento; a rede de drenagem e esgoto; rede de distribuição de ar comprimido, contendo compressores e tomadas distribuídas pela casa de força; instalações para a purificação de óleo dos transformadores, onde são instaladas bombas estacionárias e móveis, purificadores e tanques de óleo sujo e limpo; ventilação e ar condicionado, pois os geradores têm temperaturas elevadas mesmo depois de refrigerados e irradiam esse calor, juntamente com os motores, para a casa de força; espaço para prateleiras em que serão colocados cabos de controle, medição, proteção, indicação e de força para alimentação dos motores (SCHREIBER, 1977).

### 3.14 SUBESTAÇÃO DA USINA

Segundo Souza, Santos e Bortoni (2009). Nas centrais hidrelétricas, as subestações cumprem a importante função de ligar o gerador elétrico, através de seu transformador ao sistema de transmissão, distribuição ou industrial, dependendo da sua localização, finalidade e porte. Este objetivo é alcançado pela conveniente comutação ou manobra de disjuntores e chaves seccionadoras, energizando ou desligando os barramentos e linhas ou cargas conectadas.

Em instalações até 13,8 kV, uma alternativa que atende a confiabilidade a o baixo custo é o barramento singelo, mas de baixa flexibilidade operativa, conforme Figura19 (SOUZA; SANTOS; BORTONI, 2009).

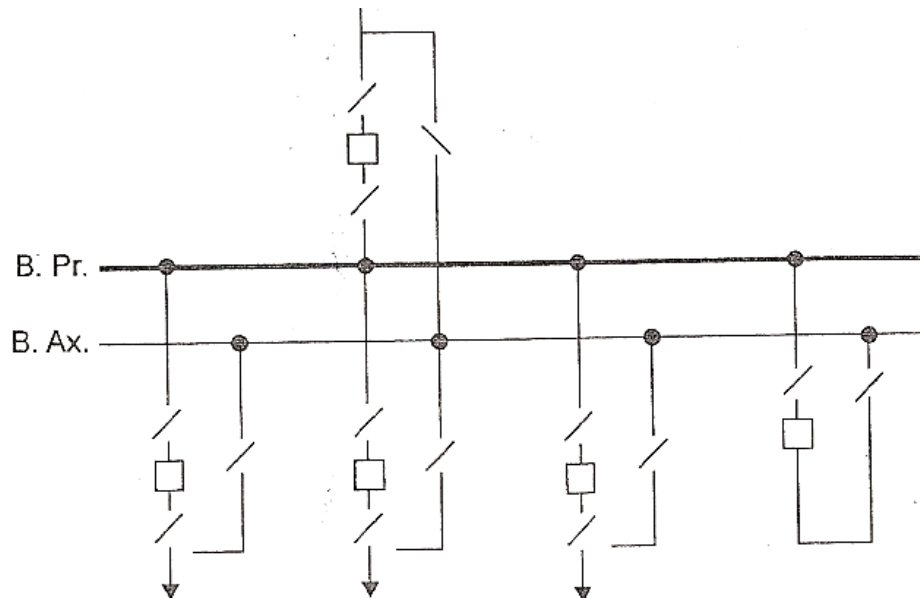
Figura 19 – Barramento singelo



Fonte: Souza, Santos e Bortoni (2009).

Para tensões de até 138 kV pode ser usado um barramento auxiliar ou de transferência, que permite comutação sem interrupção de energia. A Figura 19 ilustra essa alternativa. Em instalações de grande porte usa-se o arranjo de barramento duplo no lugar do auxiliar. (SOUZA; SANTOS; BORTONI, 2009).

Figura 20 – Subestação com barramento auxiliar



Fonte: Souza, Santos e Bortoni (2009).

#### 4 PROJETO BÁSICO DE ENGENHARIA DE PCH'S

“A implantação de uma usina hidrelétrica envolve uma série de estudos que visam avaliar a viabilidade técnica, econômica e ambiental de uma local para o aproveitamento do potencial hidroenergético.” (ELETROBRÁS, citado por FARIA, 2011).

Deve ser elaborado de acordo com as diretrizes para estudos e projetos de PCH's da Eletrobrás (2000), que determinam a realização de levantamentos de campo, estudos básicos, estudos de alternativas, orçamento padrão, planejamento da construção, concepção do subsistema de transmissão e interligação da usina ao sistema elétrico regional

O relatório apresentado a seguir é um exemplo de Projeto Básico de implantação de PCH que visa somente à geração de energia elétrica, a fim de demonstrar a viabilidade da execução, tanto em termos técnicos quanto econômicos, assim como a influência de sua implantação com relação aos aspectos socioambientais nos locais onde o empreendimento será construído.

Dá-se início ao projeto identificando o empreendedor e os consultores responsáveis pela implantação da PCH, onde devem-se constar informações como nome Fantasia, CNPJ, telefones para contato, endereço, nome dos representantes legais entre outras informações que julgar importante, uma breve apresentação do empreendimento para a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, informando o local pretendido para implantação, rio, município, estado, qual objetivo e o esboço do projeto que será apresentado.

O Objetivo dos estudos será apresentar um relatório ao órgão responsável – ANEEL, com os resultados finais do projeto básico de implantação de pequenas centrais Hidrelétricas do ponto de vista socioambiental, de modo a definir a viabilidade do empreendimento para a geração de energia elétrica. Este projeto tem como objetivo a viabilidade do empreendimento, bem como seu detalhamento em nível que permita a adequada avaliação dos benefícios energéticos e a estimativa dos custos de implantação.

O critério de dimensionamento energético para as PCH's está definido pela resolução n\* 169 de 3 de Maio de 2001 da ANEEL, que em resumo indica o dimensionamento em função do período histórico de vazões com pelo menos 30 anos.

A Resolução n\*169 definiu os critérios para a utilização do mecanismo de Realocação de energia (MRE) para as Centrais Hidrelétricas não despachadas centralizadamente pelo ONS. Para tanto, introduziu a definição dos critérios para cálculo da energia assegurada destas Usinas (Art. 4\*), eliminando o efeito do cálculo que adotava o critério de energia firme para o período

crítico do sistema interligado (1949 a 1956).

Esta condição eliminou o risco de exposição ao mercado a curto prazo quando do risco de baixa hidraulicidade, sendo as diferenças compensadas por este mecanismo. Desta forma e energia passível de contratação a longo prazo cresce, partindo do critério de cálculo da energia assegurada.

Para usinas mais antigas (anteriores a 1998) a mudança de critério permite incrementar a potencia instalada até um limite de custo/benefício ou fator de potencia (relação entre energia assegurada e potencia instalada).

Se houver estudos anteriores podem reforçar o pedido de implantação ou ampliação da PCH, quanto mais informação puder expor em relação ao histórico hidrológico, estudo geológico e topográfico, mais embasado ficará o projeto básico.

De forma mais detalhada e precisa é inserida a localização e coordenadas, a forma de acesso para chegar até o local pretendido para construção ou ampliação da PCH.

## 4.1 CRITÉRIOS DE PROJETO

### 4.1.1 Aspectos gerais

O projeto básico de uma PCH tem como objetivo principal o aprofundamento dos estudos realizados no inventário buscando a definição e detalhamento do aproveitamento selecionado, definindo assim, de maneira mais precisa, os quantitativos e características gerais do aproveitamento e dos impactos sócios ambientais regional e local, considerando-se os aspectos energéticos, econômicos e ambientais.

A metodologia utilizada no presente estudo teve como base as instruções, procedimentos, normas e critérios preconizados pelas “Diretrizes para estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas”, revisadas em 2000, pela Eletrobrás, e pelos “Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas” elaborados pela Eletrobrás 2003.

Também foram observadas as Normas e Instruções técnicas pertinentes da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. O projeto deverá ser conduzido em observância à Legislação vigente: constituição de 1988; as Leis específicas do Setor Elétrico; a Legislação Ambiental; as Resoluções da Aneel; e as Resoluções do CONOMA.

O desenvolvimento dos estudos contempla as seguintes fases para os estudos:

- a) 1ª fase: Planejamento dos Estudos

É a fase inicial onde se planejam e se organizam as atividades da elaboração do projeto básico, discriminando os levantamentos, bem como os estudos básicos necessários, estimando a sua duração e custos. O produto final é um relatório gerencial interno, contendo o programa de trabalho a executar.

b) 2ª Fase: Execução dos Estudos Preliminares

Nesta fase define-se a potência instalada, os quantitativos das obras civis e os custos dos equipamentos. Definição dos levantamentos de campo e estudos de Geologia necessário para a confirmação do arranjo proposto iniciam-se os estudos ambientais de maneira a providenciar as licenças necessárias. Esta etapa tem como objetivo selecionar a alternativa mais atraente sob os pontos de vista ambiental, energético e econômico.

c) 3ª Fase: Execução dos Estudos Finais

Realiza-se o detalhamento e o dimensionamento das estruturas e obras civis, baseados nos resultados obtidos pelo levantamento topográfico detalhado, e pelos estudos de geologia. São definidos detalhados e quantificados os equipamentos eletromecânicos e hidromecânicos e o sistema de interligação da Usina.

#### 4.1.2 Critérios de Arranjo

Análise dos fatores topográficos, geológicos e hidrológicos, no local selecionado para o barramento no estudo do inventário, visa conferir ao projeto todas as características de segurança, economicidade e viabilidade ambiental requerido para o projeto básico.

De acordo com Pereira, os arranjos das obras de usinas variam em razão das condições topográficas e geológicas do local da implantação, para locais com topografia pouco acidentada, basicamente são dois tipos de arranjo usados:

- a) Arranjo de obras compacto com todas as estruturas posicionadas ao longo do eixo de barramento, incluindo a casa de força.
- b) Arranjo de obras de desvio ou derivação, para os locais com grande queda natural, onde a barragem é posicionada a montante da queda e o circuito hidráulico de adução e geração é situado em outro eixo, numa das margens com a casa de força colocada a jusante, distante do barramento principal. (Pereira, p6, 2015).

#### 4.1.3 Critérios Hidrológicos

É necessário ter conhecimento da disponibilidade hídrica para se estimar a energia que



poderá ser produzida em determinado local. O regime de vazões depende das observações das variáveis hidrológicas e do histórico dos dados hidrográficos, presumindo que, no futuro, as condições serão as mesmas ou pelo menos muito semelhantes. (TUCCI, citado por FARIAS, 2011).

#### 4.1.3.1 Fisiografia da bacia

Vários aspectos fisiográficos da bacia, tais como área, perímetro, forma, densidade de drenagem, declividade do rio, tempo de concentração, cobertura vegetal, uso, ocupação e relevo, auxiliam na interpretação dos resultados dos estudos hidrológicos e permitem estabelecer relações e comparações com outras bacias conhecidas. Esses aspectos têm influência direta no comportamento hidrometeorológico da bacia em estudo e, conseqüentemente, no regime fluvial e sedimentológico do curso d'água principal.

A comparação dessas características e relações é um importante subsídio para a definição de “regiões hidrológicamente homogêneas”, conceito de caráter um tanto subjetivo e que também depende da experiência do profissional em hidrologia. (Eletrobrás, 2000).

#### 4.1.3.2 Curva-chave

A relação que existe entre a descarga medida e a leitura simultânea de régua é uma função que envolve características geométricas e hidráulicas da seção de medições e do trecho do curso d'água considerado. Desta forma, a curva-chave é uma representação gráfica desta relação, elaborada a partir dos resultados das medições hidrométricas e apoiada na análise dos parâmetros do escoamento.

#### 4.1.3.3 Vazões médias mensais

Deverá ser estabelecida para o local do aproveitamento uma série de vazões médias mensais derivada de uma série histórica de um posto localizado no mesmo curso d'água ou na mesma bacia.

As séries históricas deverão possuir pelo menos 25 anos de registro, compreendendo, se possível, o período crítico do Sistema Interligado Brasileiro. Caso as séries existentes tenham registros inferiores ao mínimo desejado, sugere-se a adoção das séries de vazões médias mensais disponíveis no Sistema de Informação do Potencial Hidrelétrico Brasileiro - SIPOT da

ELETOBRÁS (www.eletobras.gov.br), que possui série de dados a partir de 1931, para possíveis correlações e extensão dos históricos.

Recomenda-se, também, a verificação, junto à ANEEL (www.aneel.gov.br), da existência de séries de descargas consistidas, além dos dados básicos como séries de cotas limnimétricas, medições de descargas, fichas de inspeção das estações fluviométricas. (Eletobrás, 2000).

Tabela 1 - Histórico de Vazões Médias Mensais (PCH Celso Ramos).

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
1987	-	-	-	-	23,7	16,2	12,7	10,3	12,8	10,3	14,9	37,9	-
1988	36,3	38,2	34,2	26,0	20,5	17,1	12,5	9,9	8,0	14,2	14,6	17,4	<b>20,7</b>
1989	34,3	33,2	35,3	23,4	15,7	13,0	11,8	10,6	10,1	8,1	13,4	27,2	<b>19,7</b>
1990	30,0	17,3	24,9	19,9	13,8	9,9	9,1	7,1	8,7	11,2	9,9	14,8	<b>14,7</b>
1991	38,4	38,7	45,5	42,2	26,7	19,2	15,8	12,1	10,9	14,7	10,7	15,6	<b>24,2</b>
1992	49,2	56,9	37,7	27,2	22,0	16,1	13,6	11,1	13,4	13,8	28,2	28,4	<b>26,5</b>
1993	26,2	35,8	28,7	24,7	17,4	16,5	11,3	9,0	9,5	9,0	8,3	14,1	<b>17,5</b>
1994	28,6	24,6	24,2	17,4	17,2	11,9	9,9	7,5	5,7	6,5	8,1	32,5	<b>16,2</b>
1995	24,2	44,3	28,0	22,5	17,3	12,7	11,7	8,7	7,7	12,9	12,5	18,1	<b>18,4</b>
1996	32,2	29,4	33,2	21,9	16,4	12,4	10,5	8,8	14,3	11,5	24,3	32,8	<b>20,6</b>
1997	50,3	38,5	30,4	24,6	17,9	18,3	12,6	9,7	9,0	9,3	17,4	24,0	<b>21,8</b>
1998	22,6	30,9	25,3	18,3	15,2	11,5	8,9	-	-	-	-	-	-
<b>MÉDIA</b>	<b>33,80</b>	<b>35,30</b>	<b>31,60</b>	<b>24,37</b>	<b>18,60</b>	<b>14,60</b>	<b>11,70</b>	<b>9,53</b>	<b>10,00</b>	<b>11,00</b>	<b>14,80</b>	<b>23,90</b>	<b>19,93</b>

Fonte: scribd.(2010)

#### 4.1.3.4 Estudo de Vazões Estrema

Vazões extremas são as vazões máximas e mínimas que poderão vir a ocorrer. Para vazões máximas utilizam-se os dados do ano hidrológico (outubro a setembro do ano seguinte), isso porque as vazões de dezembro e janeiro estão fortemente relacionadas e é onde o período é bem definido, destacando o maior risco de inundações. E para as vazões mínimas utiliza-se o ano civil (janeiro a dezembro) (SOUZA; SANTOS; BORTONI, 2009).

Os estudos de vazões extremas devem ser realizados conforme a disponibilidade de dados na bacia e na região do aproveitamento. Desta forma, existirão duas possibilidades de

ocorrência: o local dispõe de uma série de vazões médias diárias ou o local não dispõe de dados diários. Na eventualidade do aproveitamento se situar no segundo caso, os eventos extremos poderão ser gerados a partir de: regionalização através de valores extremos calculados para bacias circunvizinhas ou utilização de hidrograma sintético do Soil Conservation Service.

#### 4.1.3.5 Vazões Mínimas

A vazão mínima a jusante deve ser definida a partir de estudos ambientais, principalmente nas PCHs que adotem arranjos do tipo derivação, ou seja, com desvios das vazões naturais através de canal, túnel ou conduto para uma Casa de Força a jusante do local do barramento, reduzindo substancialmente o afluxo de água no trecho de rio compreendido entre essas duas estruturas.(Eletrobrás, 2000).

Além disto, recomenda-se como bibliografia a publicação “Quantificação de Vazão em Pequenas Bacias com Carência de Dados Fluviométricos” de Geraldo Lopes da Silveira, tese de doutorado, IPH/UFRS, 1997.

#### 4.1.3.6 Avaliação Sedimentatória

Em PCH, os reservatórios têm, de modo geral, pouco volume e, conseqüentemente, pequena capacidade de regularização.

A construção de um barramento sempre altera o equilíbrio hidráulico-sedimentológico de um curso d’água, devido à desaceleração da corrente líquida ocasionada pela presença do reservatório, dando início a um processo de assoreamento. Desta forma, os aspectos sedimentológicos se revestem de grande importância, uma vez que este processo se inicia nas suas bordas reduzindo o já pequeno volume d’água existente.

É de primordial importância a consideração da descarga sólida do leito nos pequenos reservatórios, uma vez que a maior parte da descarga em suspensão sai pelas estruturas extravasoras e/ou circuito hidráulico de geração, permanecendo no lago o sedimento grosso, de maior granulometria, como areia.

Na figura 21 abaixo observa-se trabalhadores desassoreando a entrada de água de um conduto forçado.

Figura 21 - Desassoreamento da Baragem, Usina Celso Ramos, Faxinal dos Guedes SC.



(Fonte: o Autor).

#### 4.1.3.6.1 Análise dos dados sedimentométricos:

Os dados coletados e os resultados das medições de descarga sólida realizadas no local do aproveitamento deverão ser objeto de uma criteriosa análise, a fim de que seja possível a caracterização do comportamento hidráulico e sedimentológico do curso d'água.

Os dados sedimentométricos, normalmente medidos no país, se referem à descarga em suspensão, em t/dia, não sendo suficientemente adequados para a avaliação do assoreamento de pequenos reservatórios. Assim, é necessária a determinação da descarga de fundo ou do material do leito para ser somada à descarga em suspensão e obter-se a descarga sólida total.

Numa avaliação preliminar, no caso da inexistência de dados, pode-se estimar a descarga sólida de fundo como sendo de 10 a 20% do valor da descarga sólida total.

#### 4.1.4 Critérios Energéticos (Cálculo de Potência da Usina)

“A definição da potência instalada de uma usina é realizada usualmente na fase de projeto básico através de análises de custo-benefício, uma vez que na fase de inventário é adotado, segundo critérios da ANEEL, um fator de capacidade de referência 0,5” (FARIA, 2011).

Segundo Sá (2009), a queda disponível (Hd) é a queda bruta da usina (Hb) menos a soma das perdas. Definido essas perdas, a potência da turbina em cavalo vapor (CV) é:

$$W = \frac{\gamma \cdot Q \cdot Hd}{75} \cdot \eta \quad [CV] \quad (15)$$

Onde:

W = potência da turbina [CV];

$\gamma$  = peso específico da água – 1000[kg / m<sup>3</sup>];

Q = vazão [m<sup>3</sup> / seg];

Hd = altura disponível [m];

H = rendimento da turbina [%].

Segundo o mesmo autor, a potência do gerador em KVA é dada por:

$$W = \frac{W_{cv} \cdot \eta_g \cdot 0,736}{\cos \varphi} \quad [KVA] \quad (16)$$

Se quiser obter o valor em potencia ativa:

$$W_{kW} = W_{kva} \cdot \cos \varphi \quad (17)$$

Onde:

WCV = potência da turbina em [CV];

$\eta_g$  = rendimento do gerador = 0,90;

cos  $\varphi$  = fator de potencia – F.P. = 80%

“O número de pares de pólos do gerador (P) é dado pela relação, abaixo, em função da

frequência (f) e da velocidade (n) da turbina [...] sendo que quanto menor a velocidade, maior é o número de pares de pólos do gerador” (SÁ, 2009).

$$P = \frac{f \cdot 60}{n} \quad (18)$$

Onde:

P = número de pares de pólos;

f = frequência;

n = rotações por minuto da turbina.

#### 4.1.5 Critérios geológicos e geotécnicos

A Eletrobrás, conforme Farias (2011), cita os seguintes objetivos para os estudos e levantamentos geológico-geotécnicos:

- a) Investigar as condições nas fundações da região das estruturas componentes do aproveitamento, bem como das encostas da vizinhança;
- b) Pesquisar e caracterizar as áreas de empréstimos de solo, jazidas de areia e material pétreo<sup>15</sup> próximos ao local do aproveitamento;
- c) Identificar possíveis locais para lançamento de bota-fora, instalação de canteiro e alojamento de operários;
- d) Obtenção de dados geotécnicos de outras obras de porte executadas na região;
- e) Estudo dos mapas geológicos, geomorfológicos, de potenciais de mineralização e de sismotectônia.

#### 4.1.6 Estudos de Impacto Ambiental (EIA)

São realizados por equipes multidisciplinar de acordo com as instruções do Ibama e dos órgãos ambientais estaduais, obedecendo sempre as resoluções do Conama. O Brasil adota um licenciamento ambiental que depende da aprovação de três fases para a conclusão do empreendimento.

- a) Licença Prévia (LP): Concedida por 5 anos, aprova a localização e concepção do empreendimento, viabilidade ambiental;
- b) Licença de Instalação (LI): Autoriza a obra do empreendimento, de acordo com os

planos, projeto e programas aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes;

- c) Licença de Operação (LO): Autoriza a operação do empreendimento após a verificação das licenças anteriores.

#### 4.1.6.1 Projeto Básico Ambiental (PBA)

É concebido para que todos os programas ambientais caracterizados no EIA ou acrescidos pelos órgãos ambientais na LP, esses programas deverão ser executados na região diretamente afetada ao longo do projeto executivo, ou seja, durante a obra de implantação. No caso de empreendimento menores como é o caso das PCH's o normal é elaborar um documento mais simplificado, o relatório de detalhamento dos programas ambientais – RDPA, para obtenção da LI. O órgão acompanha a implantação dos programas durante a execução das obras para que possa emitir a LO.

### 4.2 DETALHAMENTO DO PROJETO

#### 4.2.1 Concepção Geral do Projeto

Nesta etapa inicia-se o detalhamento do projeto, dando uma visão geral do empreendimento citando quantidade de unidades geradoras, tipo de turbina, potência instalada, tensão de interligação, obras civis etc.

#### 4.2.2 Reservatório

O reservatório, Figura 22 serve para armazenar água proveniente de um excesso hídrico para que a mesma seja utilizada no período de seca. A capacidade do reservatório é dimensionada de acordo com o tempo de regularização e o tempo de enchimento do mesmo. O tempo de regularização é o tempo de interesse que se tem em manter no reservatório o volume útil. O tempo de enchimento é o tempo necessário para encher esse reservatório com a vazão disponível (SOUZA; SANTOS; BORTONI, 2009).

“As PCHs quase sempre são a fio de água, tendo como consequência a concepção da barragem simplificada, dispensando, na maioria das vezes, o uso de comportas” (SOUZA;

SANTOS; BORTONI, 2009).

Quando é necessária uma regularização de maiores volumes do reservatório, tal concepção deve ser substituída por outra onde o volume possa ser controlado por essas comportas, posicionadas na parte superior do extravasor.

Figura 22 - Reservatório, Usina Pery, Curitibaanos SC.



(Fonte o Autor).

#### 4.2.3 Barragem

**5** Essencialmente trata-se de um muro transversal ao rio, de pequena altura (máximo 15m), destinado a conseguir um regime fluvial com escoamento a montante para facilitar o desvio da água por uma lateral através de um canal de derivação. No próprio açude, ou na entrada do canal, a jusante, existirá um vertedouro de coroação que fará com que a vazão restante retorne ao rio antes de passar à usina.

**6** Os tipos de açudes e represas, por sua forma, são variados: de gravidade, de terra ou enrocamento. Por suas características construtivas, podem ser: de concreto, de terra construída e de enrocamento com tela de impermeabilização. As represas de contrafortes, em arco ou abóboda, por sua envergadura, não costumam ser utilizadas nas mini usinas.



Figura 23 – Barragem Usina Pery, Curitibanos SC.



Fonte: O Autor.

### 6.1.1 Vertedouro

Figura 24 – Vertedouro, Usina Celso Ramos, Faxinal dos Guedes SC.



Fonte: O Autor.

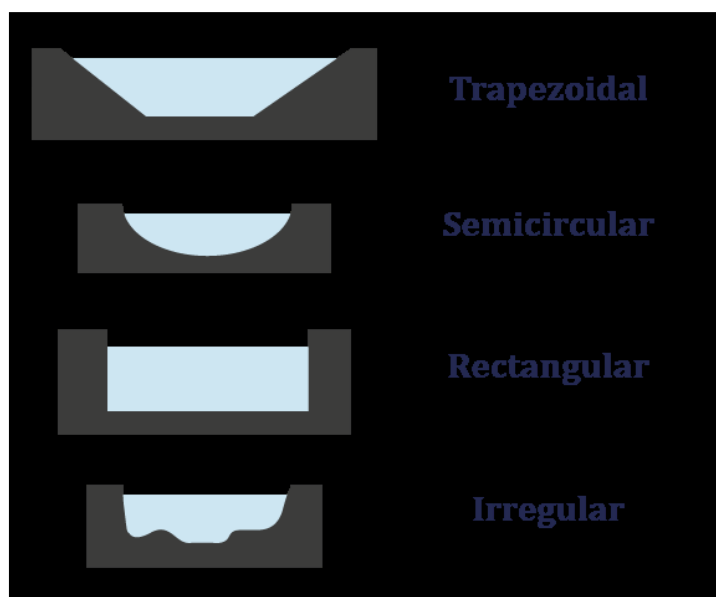
O vertedouro, Figura 24 é projetado para conduzir as vazões de cheia para a

jusante da barragem, em condições de segurança (ELETROBRÁS, 2003), “evitando o risco de o nível da água atingir a crista do reservatório” (SOUZA; SANTOS; BORTONI, 2009). Podendo ser dimensionado com ou sem comportas, dependendo da análise técnico-econômica, sendo que se a opção for com comporta, devem ser previstas no mínimo duas (ELETROBRÁS, 2003).

## 6.1.2 Circuito hidráulico de adução

### 6.1.2.1 Canal de Adução

Figura 25 – Formas de Canal de Adução



Fonte: Programa de Capacitação de Energias Renováveis, ONUD.

O canal parte da tomada e conduz a água até a câmara de carga, de onde é conduzida pelo conduto forçado à usina, costumam ser abertos à atmosfera, ainda que constantemente estejam cobertos em alguns trechos para evitar contaminações, avalanches de materiais de ladeiras adjacentes quedas de animais ou pessoas; ou para que uma elevação do terreno possa atravessá-lo através de um túnel.

Por sua forma, em uma seção transversal ao fluxo, os canais podem ser trapezoidais, retangulares, semicirculares ou de seção irregular (Figura 25). Com relação aos materiais, os mais comuns na mini hidráulica são dos de concreto, ainda que na micro hidráulica também sejam construídos a base de pré-fabricados de concreto armado, reforçados com fibras, ou

através de um corte longitudinal por um plano diametral a uma condução circular.

Em seu desenho, procura-se fazer com que as perdas de energia sejam mínimas.

#### 6.1.2.2 Tomada de água

Local onde fica localizado as comportas tanto de ensecadeira (manutenção), quanto a comporta vagão (se aplicável), ali também se encontra equipamentos de levantamento como pórtico utilizado para mover essas comportas, quadros para medições de nível e controle também ficam na tomada de água.

Figura 26 – Tomada de água, Usina Celso Ramos.



Fonte: O Autor.

#### 6.1.2.3 Chaminé de equilíbrio

A chaminé de equilíbrio, Figura 27, é um reservatório de eixo vertical, normalmente posicionado no final da tubulação de adução de baixa pressão e a montante do conduto forçado,

com as seguintes finalidades: - amortecer as variações de pressão, que se propagam pelo conduto forçado, golpe de aríete, decorrente do fechamento rápido da turbina; e - armazenar água para fornecer ao conduto forçado o fluxo inicial provocado pela nova abertura da turbina, até que se estabeleça o regime contínuo. Quando necessário, a chaminé de equilíbrio deve ser instalada o mais próximo possível da casa de força, para reduzir o comprimento do conduto forçado e diminuir os efeitos do golpe de aríete.

Figura 27 - Chaminé de Equilíbrio, Usina Celso Ramos, Faxinal Dos Guedes SC.



(Fonte: Autor).

#### 6.1.2.4 Condutos forçados

O conduto forçado (figura 28) parte da câmara de carga e leva a água ao edifício da usina e à turbina nele instalada. É construído com aço com reforçadores e apoios desenhados para os esforços de resistência em cada caso, incluindo os possíveis golpes do martelo de água.

Figura 28 – Conduto forçado metálico, Usina Pery I e II, Curitibaanos SC.



Fonte: O Autor.

Os condutos forçados podem ser individuais para cada Unidade Geradora ou pode ser compartilhado com bifurcações a fim de direcionar a água para cada turbina.

O conduto forçado é desenhado através de cálculo mecânico (resistência à solicitações constantes, a sobrepressões do martelo de água e a forças por mudanças de direção, de seção, etc.), bem como de cálculo hidráulico de velocidade, vazão e perdas de carga. A espessura mínima dos condutos é de 5 a 6mm e seu diâmetro é calculado em função da vazão, com velocidades máximas de água de 4 a 5 m/s.

Um fator muito importante ao determinar o diâmetro ideal do conduto de pressão são as perdas de carga no próprio conduto. As perdas são representadas como uma porcentagem sobre a queda bruta da usina e traduzidas em perdas de energia. Estas se reduzem com o aumento do diâmetro, mas representam um aumento de custo importante.

#### 6.1.2.5 Casa de Força

Neste se situa o equipamento que converte a energia hidráulica em mecânica e elétrica e todos os elementos auxiliares: turbinas, geradores, quadros elétricos de controle, sistema de regulação, válvula de guarda e de desvio e o sistema de descarga ao rio.

A configuração física do edifício depende do tipo e número de máquinas a utilizar e do

tamanho das mesma, devido a que pode ser um grupo de turbinas – gerador de eixo horizontal ou vertical. O edifício costuma ser construído ao lado do rio ao qual a água será devolvida, produzindo o mínimo impacto ambiental. Deve-se considerar também que, devido ao tamanho e viabilidade da instalação, a usina somente será visitada ocasionalmente.

O ponto em que se deve localizar o edifício deve ser escolhido cuidadosamente, considerando os estudos topográficos, geológicos e geotécnicos, bem como a acessibilidade.

A localização do edifício responde a uma seleção meticulosa baseada no projeto da central. Basicamente procura-se:

- a) Facilidade para a entrada do conduto forçado;
- b) Capacidade para alojar todos os componentes;
- c) Facilidade para a aspiração e descarga;
- d) Cumprimento das normas relativas a este tipo de instalações, incluída a legislação ambiental;
- e) Minimizar o custo de implantação como medida para garantir a viabilidade da exploração;

Tudo isso sem esquecer do estudo geotécnico e de acessibilidade. Em alguns casos, o edifício localiza-se em grande parte no subsolo, como medida para minimizar o impacto ambiental.

Normalmente se situa a alguns metros acima do nível de desagüe, para evitar sua inundação no caso de uma enchente.

Figura 29 – Casa de força Usina Pery, Curitibaanos SC.

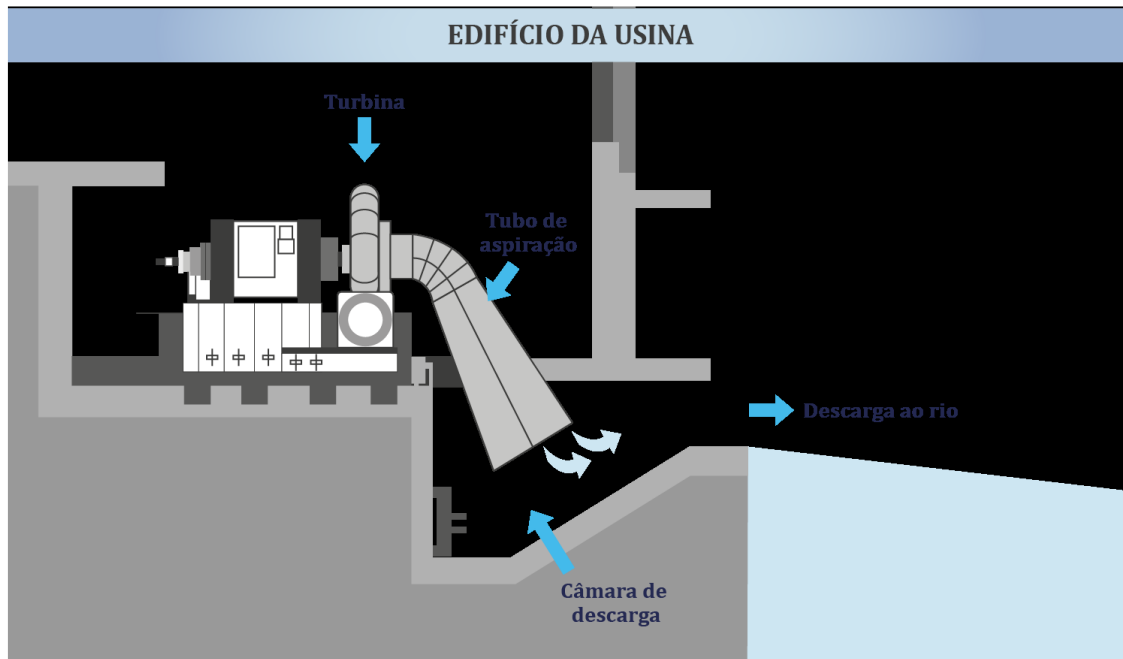


Fonte: O Autor.

### Canal de fuga

A usina devolve a água ao rio no próprio edifício ou em suas proximidades. As turbinas de ação vertem diretamente ao canal de desagüe, já que não incorporam o tubo de aspiração, e as de reação o fazem a partir do tubo de aspiração (figura 30).

Figura 30 – Canal de fuga



Fonte: Programa de Capacitação de Energias Renováveis, ONUD.

### 6.1.3 Conexão Da Usina Ao Sistema Elétrico

Para executar a conexão da PCH deve-se observar os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, toda informação necessária está presente no Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição.

Os dados a seguir foram retirados do módulo 3 do PRODIST, conexão de unidades da categoria de produção ao sistema de distribuição:

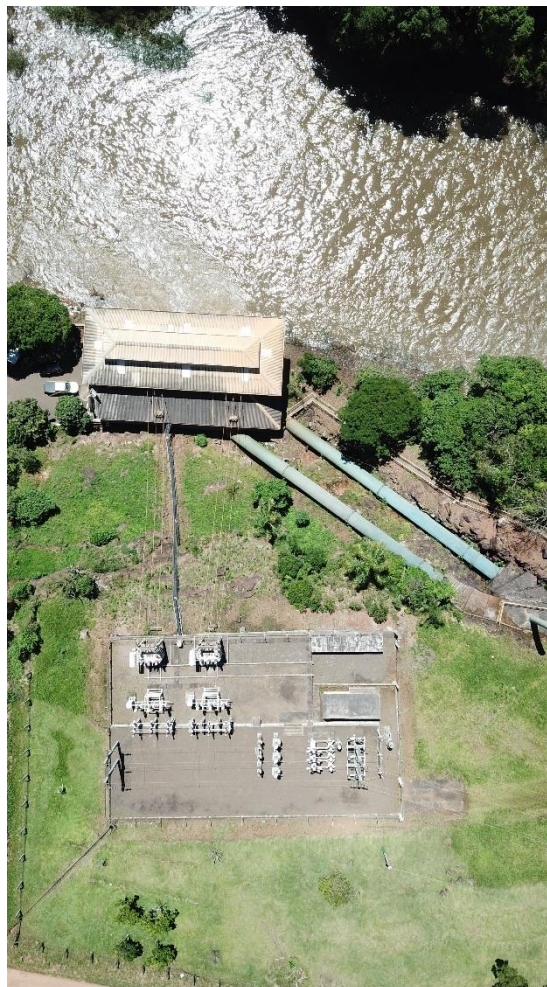
- A categoria de produção é composta pelas centrais geradoras de energia e pelos agentes de importação de energia;
- A conexão deve ser realizada em corrente alternada com frequência de 60 (sessenta) Hz;
- O acessante que conecta suas instalações ao sistema de distribuição não pode reduzir a flexibilidade de recomposição do mesmo, seja em função de limitações dos equipamentos ou por tempo de recomposição;

- d) O paralelismo das instalações do acessante com o sistema da acessada não pode causar problemas técnicos ou de segurança aos demais acessantes, ao sistema de distribuição acessado e ao pessoal envolvido com a sua operação e manutenção;
- e) Para o bom desempenho da operação em paralelo, deve existir um sistema de comunicação entre a acessada e o acessante;
- f) O acessante é o único responsável pela sincronização adequada de suas instalações com o sistema de distribuição acessado;
- g) O acessante deve ajustar suas proteções de maneira a desfazer o paralelismo caso ocorra desligamento, antes da subsequente tentativa de religamento;
- h) O tempo de religamento é definido no acordo operativo;
- i) No caso de paralelismo permanente, o acessante deve atender aos requisitos técnicos de operação da acessada, observando os procedimentos operacionais do Módulo 4 - Procedimentos Operativos;
- j) As partes devem definir os arranjos da interface de seus sistemas no acordo operativo;
- k) Os estudos básicos, de responsabilidade do acessante, devem avaliar tanto no ponto de conexão como na sua área de influência no sistema elétrico acessado os seguintes aspectos: Nível de curto-circuito; Capacidade de disjuntores, Barramentos, Transformadores de instrumento e malhas de terra;
- l) Adequação do sistema de proteção envolvido na integração das instalações do acessante e revisão dos ajustes associados, observando-se estudos de coordenação de proteção, quando aplicáveis; ajuste dos parâmetros dos sistemas de controle de tensão e de frequência e, para conexões em alta tensão, dos sinais estabilizadores;
- m) Os estudos operacionais necessários à conexão da instalação do acessante ao sistema de distribuição são de sua responsabilidade, devendo ser aprovados pela acessada;
- n) A instalação do acessante, conectada ao sistema de distribuição, deve operar dentro dos limites de frequência estabelecidos no Módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica;
- o) As tensões de conexão padronizadas para MT e AT são: a) 13,8 kV (MT); b) 34,5 kV (MT); c) 69 kV (AT); d) 138 kV (AT);
- p) O acessante deve garantir que suas instalações operem observando as faixas de fator de potência estabelecidas no Módulo 8 - Qualidade da Energia Elétrica; Sistema de



- proteção;
- q) Os ajustes das proteções das instalações do acessante devem ser por ele calculados e aprovados pela acessada;
  - r) Os procedimentos de operação da proteção do sistema elétrico do acessante devem estar definidos no acordo operativo;
  - s) Forma de onda e amplitude da tensão; O acessante deve garantir, ao conectar suas instalações, que não sejam violados os valores de referência no ponto de conexão estabelecidos em regulamentação específica para os seguintes parâmetros, distorções harmônicas, desequilíbrio de tensão, flutuação de tensão, variações de tensão de curta duração. (PRODIST – MODULO 3).

Figura 31 - Conexão da Usina com Subestação, Celso Ramos, Faxinal dos Guedes SC.



Fonte: O Autor.

#### 6.1.4 Equipamentos e Sistemas mecânicos

#### 6.1.5 Turbinas

Podemos definir uma turbina hidráulica, Figura 32, como a máquina (motora) que é capaz de transformar parte da potencia disponível em uma corrente hidráulica em potencial mecânica no eixo. A sessão de energia é realizada no rotor, mas para tanto existe uma importante contribuição de outros órgãos, como o distribuidor (nele parte da energia potencial se converte em cinética), e o conduto de aspiração que, como se mencionou, reduz a pressão de saída do rotor, aumentando a queda líquida disponível.

Um elemento essencial da instalação hidráulica é a turbina hidráulica. O tipo, geometria e dimensões da turbina estão condicionados, fundamentalmente, pelos seguintes critérios:

- a) Altura líquida da queda;
- b) Forquilha de vazões a serem turbinadas;
- c) Velocidade de rotação;
- d) Problemas de cavitação;
- e) Velocidade de fuga;
- f) Custo;

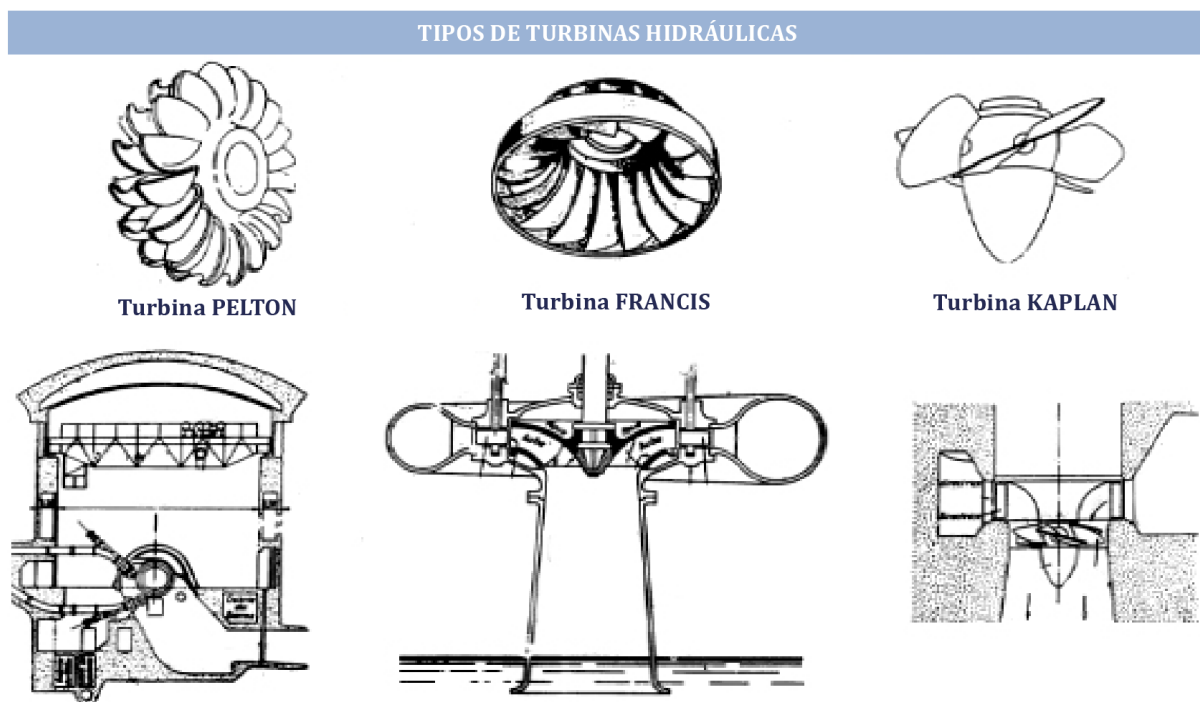
**Turbinas Pelton:** (Turbina de ação) Na faixa das PCHs atendem a quedas de 100m a 500m e potências de 500 até 12500 KW. Possuem ótimo desempenho sob cargas parciais, funcionando suavemente e sem cavitação com até 20% da carga nominal. A Pelton se caracteriza por um rotor com pás ou conchas na periferia e por uma tubulação de adução alimentando um ou mais injetores.

**Turbinas Francis:** Atendem a quedas de 15 a 250 metros e potências de 500 a 15000 KW. Possuem ótimo desempenho sob cargas de até 70% da carga nominal. Não é aconselhável o funcionamento da turbina abaixo de 50% da vazão nominal, devido principalmente a problemas de cavitação. São classificadas como turbinas de reação. Possui uma caixa espiral em aço ligada em seu lado montante a um conduto forçado. A variação da potência fornecida pela turbina é obtida com a abertura ou fechamento das palhetas diretrizes situadas na periferia interna do pré-distribuidor em um conjunto chamado distribuidor.

**Turbinas Kaplan S:** Atende a quedas de 4 a 25 m e potências de 500 a 5000 KW para vazões de até 22,5 m<sup>3</sup>/s. Possui ótimas características de operação, mesmo a cargas parciais,

desde que utilizado o rotor Kaplan de pás reguláveis. Se o distribuidor também for regulável, caracterizando uma turbina de dupla regulação, a faixa de operação irá de 100% até 20% da carga nominal. Caso o distribuidor seja fixo, o limite inferior de operação se limita a 40% da carga nominal.

Figura 32 – Tipos de turbinas hidráulicas.



Fonte: Programa de Capacitação de Energias Renováveis, ONUD.

#### 6.1.5.1 Reguladores de Velocidade

Para o acionamento dos elementos de regulação da vazão e válvulas, dispõe-se de um grupo óleo-hidráulico de óleo sob pressão.

Estes acionamentos são:

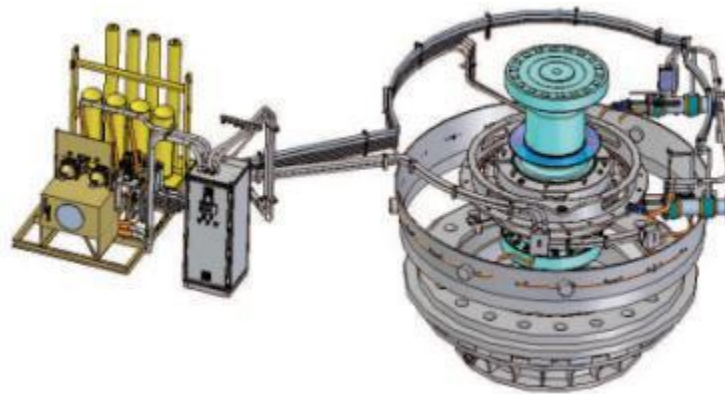
- a) O acionamento das pás do rotor (KAPLAN ou SEMIKAPLAN);
- b) O acionamento das pás do distribuidor ou dos injetores (PELTON);
- c) O acionamento da válvula de guarda.

Um grupo óleo-hidráulico típico pode conter os seguintes equipamentos:

- a) Depósito de aproximadamente 100 litros de capacidade (com termostato, chave de

- esvaziamento e tampa de enchimento);
- b) Motobomba de engrenagens;
  - c) Filtro de aspiração;
  - d) Válvulas unidirecionais;
  - e) Regulador da vazão;
  - f) Pressostato;
  - g) Eletroválvula de acionamento de pás;
  - h) Servo-acionamento de pás.

Figura 33 – Grupo óleo-hidráulico de uma turbina Francis.



Fonte: IMPSA Hydro

#### 6.1.5.2 Válvulas

Em todo o aproveitamento hidrelétrico é necessária a instalação de algum dispositivo que isole a turbina ou a central do aproveitamento no caso de parada. Válvulas, que podem ser:

- a) De fechamento ou segurança: válvula de guarda;
- b) De regulação: são os injetores nas turbinas Pelton ou os distribuídos nas turbinas de reação, tipo Francis e Kaplan;

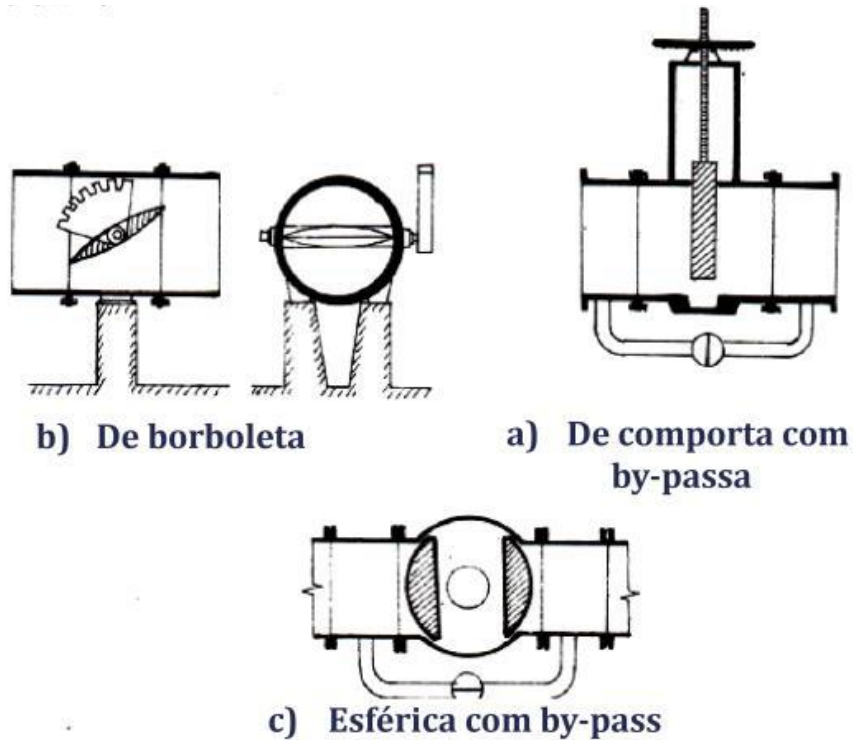
A válvula de guarda na entrada da turbina é o elemento que permite o fechamento em casos de parada da usina por períodos de manutenção ou no caso de falhas do sistema de regulação.

As válvulas mais utilizadas podem ser manuais ou automáticas, e os tipos são (figura 34):

- a) De borboleta
- b) De comporta by-pass

## c) Esférica com by-pass

Figura 34 – Tipos de válvulas de guarda.



Fonte: IMPSA Hydro

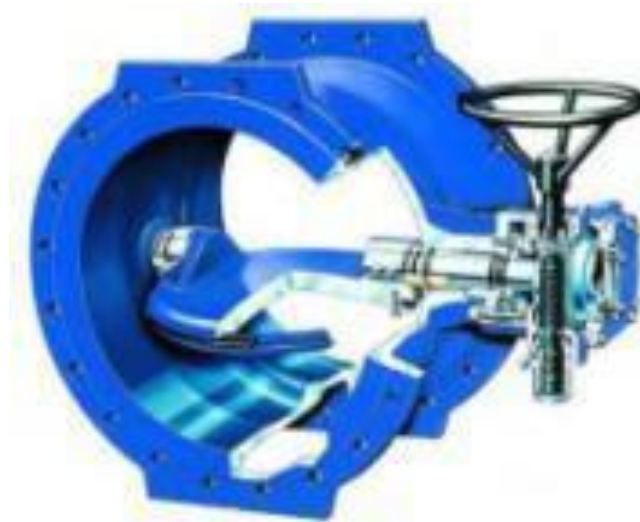
As características mais importantes deste tipo de válvula são:

## a) Válvula de borboleta com contrapeso:

- Fechamento através de disco giratório;
- Abertura (em linha)/fechamento (perpendicular);
- Aberta (90° grau abertura)/fechada (0° grau abertura);
- Risco de manobra rápida;
- Baixa perda de carga (aberta);
- Torque necessário baixo (hidráulico + mecânico);
- Pequenas (não multiplicador): gatilho de imobilidade;
- Médias: manuais com multiplicador;

- Grandes: motor elétrico, multiplicador de manobra;
- visualização de posição;

Figura 35 – Válvula de mariposa.



Fonte: COMEVAL

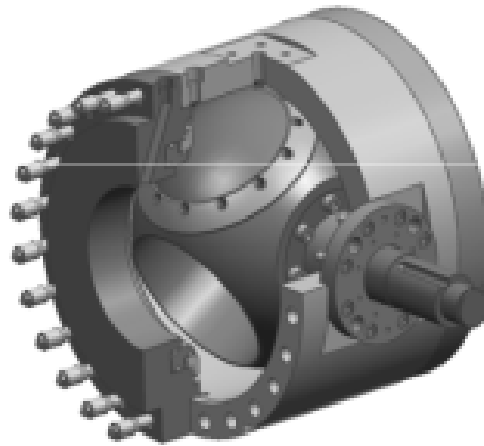
b) válvula esférica ou bola com contrapeso:

- Dotadas com válvulas by-pass e contrapesos;
- Aberta: perda muito baixa de carga;
- Fechada: boa estanqueidade;
- Torque necessário baixo (hidráulico + mecânico);
- Pequenas (não multiplicador): gatilho de imobilidade;
- Médias: manuais com multiplicador;
- Grandes: motor elétrico, multiplicador de manobra;
- Visualização de posição.

Os dados para sua escolha correta são, portanto:

- a) Diâmetro nominal da válvula: Costuma coincidir com o diâmetro do conduto forçado;
- b) Coeficiente de perda de carga;
- c) Tempo de fechamento adequado para evitar o golpe do martelo de água, Comparativamente, a perda de carga nas válvulas esféricas é menor e são mais utilizadas do que as mariposas, apesar de que seu custo seja maior.

Figura 36 – Válvula esférica.



Fonte: COMEVAL

## 6.1.6 Equipamentos Hidromecânicos

### 6.1.6.1 Comporta ensecadeira:

Estas comportas estão localizadas na tomada de água a montante da comporta vagão, é utilizada quando alguma manutenção for necessária no interior da turbina, então é colocado comportas de ensecadeira a montante e a jusante da turbina para que possa evitar a entrada da água e drenar o excesso possibilitando a entrada dos trabalhadores no seu interior (Figura 37).

Figura 37 – Comporta de Ensecadeira (Manutenção) Usina Pery, Curitibaanos SC.



Fonte: O Autor.

#### 6.1.6.2 Grades tomada d`água

As grades estão presentes na entrada do conduto adutor, são fabricadas com chapas de ferro chatas com espessuras e espaçamentos de acordo com o tamanho do diâmetro do conduto e sua vazão (Figura 38).

Tem como função evitar a entrada de possíveis objetos, geralmente troncos de árvores e galhos trazidos pelo rio, evitando assim possíveis danos na turbina.



Figura 38 – Grade de entrada do conduto adutor, Usina Pery, Curitiba SC.



Fonte: O Autor.

#### 6.1.6.3 Limpa Grade

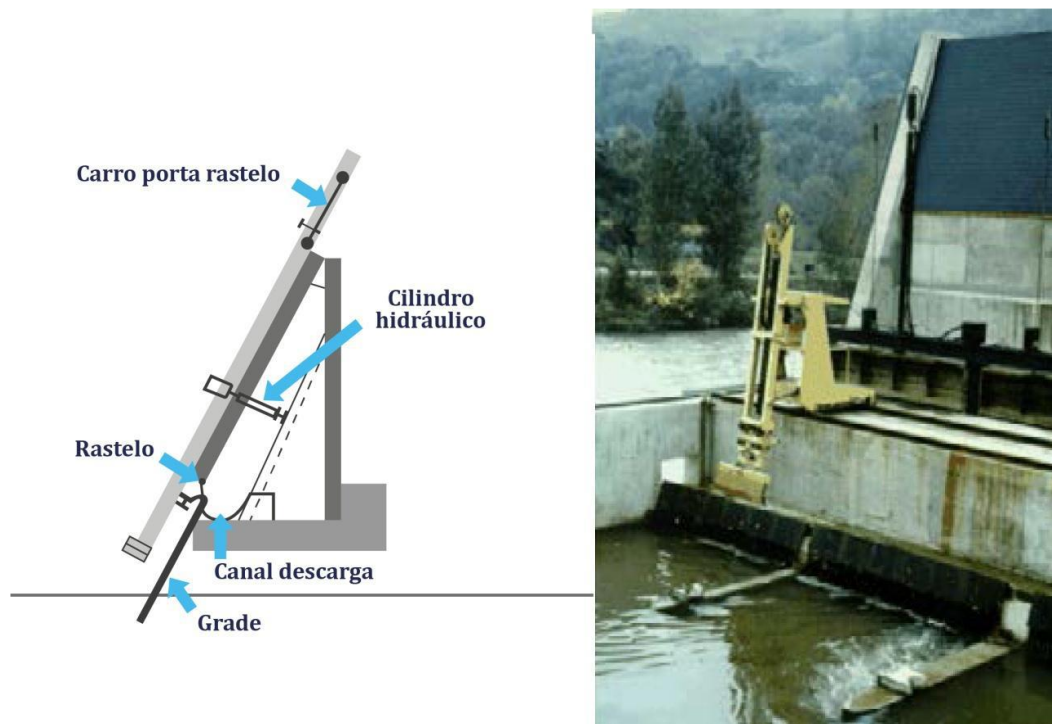
A grade metálica que é destinada a evitar a entrada de objetos que possam a vir danificar a turbina geralmente é projetada juntamente com um limpa grade automático a fim de recolher esse material que fica depositado, tem um papel importante pois evita a perda de potencia das unidades geradoras devido ao baixo fluxo de água que pode vir ocorrer devido a esses objetos.

É um equipamento automático composto por garras que mergulham junto a grade (Figura 39), boa parte da sujeira é limpa por esse equipamento, de forma eficiente e rápida ao comparar se for manualmente.

#### 6.1.6.4 Comportas de ensecadeiras tubo de sucção

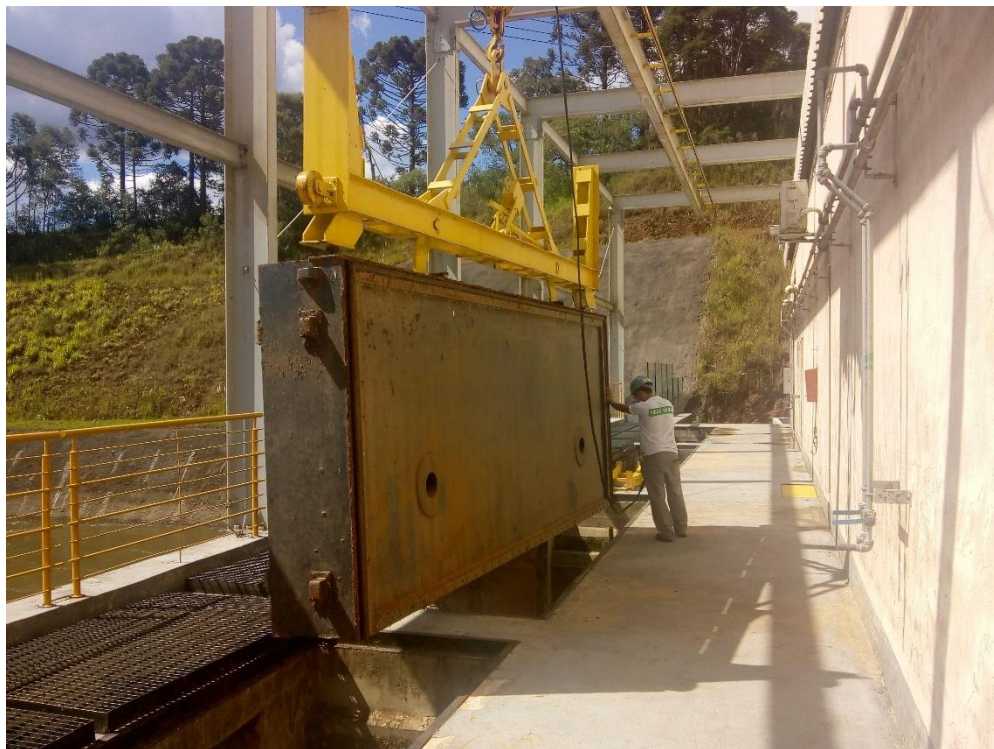
Estas comportas tem a mesma função das comportas de ensecadeiras localizadas na tomada de água, pois para que possa drenar a maquina pra uma possível manutenção as duas extremidades terão que ser fechada, impedindo a entrada da água a montante e a jusante.(Figura 40).

Figura 39 – Limpa Grade Automático.



Fonte: Esha.

Figura 40 - Comporta de Ensecadeira Jusante, Usina Pery, Curitibaanos SC.



Fonte: O Autor.

## Equipamentos de Levantamento

### 6.1.6.5 Ponte rolante principal casa de força

Figura 41 – Ponte rolante casa de força, içando Rotor do Gerador, Usina Pery, Curitibaanos SC.



Fonte: O Autor.

Uma ponte rolante, Figura 41, é um equipamento utilizado para içamento, ou seja, para elevação de cargas, e são compostas basicamente de viga, carro e talha. Podem ser móveis ou fixas, com o propósito de manipular objetos classicamente grandes e pesados, e que não podem ser movidos facilmente de forma manual.

A ponte rolante localizada na Casa de Força serve principalmente para montagem e desmontagem das partes das unidades geradoras, como gerador, turbina, cruzetas etc.

6.1.6.6 Talha elétrica de acionamento das comportas e grades da tomada d'água (ponte rolante).

Este equipamento tem a função de movimentar as comportas de ensecadeira quando é necessário coloca-las para manutenção, retirada da grade de proteção do conduto adutor também quando necessário troca ou reparos, fica localizada na tomada de água.

Figura 42 – Pórtico Rolante, Tomada de água usina Pery, Curitibaanos SC.



Fonte: O Autor.

6.1.6.7 Talha elétrica de acionamento do tubo se sucção (monovia)

Figura 43 – Monovia Curva.



Fonte: Climber (2018).

Monovia, Figura 43, consiste em um sistema de transporte mecânico e automático. Sistema elevado de transportador contínuo constituído de trilho e um suporte para carga. Os trilhos possuem uma corrente tracionada por um motor com mecanismo que transporta as cargas.

#### 6.1.7 Sistemas Mecânicos Auxiliares

#### 6.1.8 Sistema de água Industrial

O sistema de água industrial (Figura 44), é destinado exclusivamente para refrigeração dos equipamentos, como trocadores de calor onde o óleo quente passa por serpentinas que são resfriadas pela água do sistema industrial, resfriamento do gerador através de radiadores entre outros.

Esta água geralmente é proveniente do rio, por isso passa por filtros responsáveis por evitarem que sujeiras passem para o sistema de refrigeração, em seguida é bombeada para os equipamentos citados acima, também é utilizada em tubulações que percorrem toda a planta para serem utilizadas para lavar locais e equipamentos.

Figura 44 – Sistema de água Industrial.



Fonte – depositphotos.

#### 6.1.8.1 Sistema de drenagem

Em uma pequena central hidrelétrica o sistema de drenagem é de fundamental importância, a planta é projetada para que haja um poço de drenagem, onde toda a água proveniente de vazamentos ou até mesmo quanto utilizada para lavar locais e equipamentos fica armazenada nesse local.

Toda usina deve haver uma caixa separadora de água e óleo, havendo risco de contaminação, assim a água é limpa podendo enfim retornar ao rio sem prejudicar o meio ambiente.

A drenagem funciona de forma automática de acordo com o volume de água que escoar até o poço, é drenada por bombas ligadas a sistemas em paralelo para melhorar a vazão, esta água é drenada a jusante da casa de força até o rio.

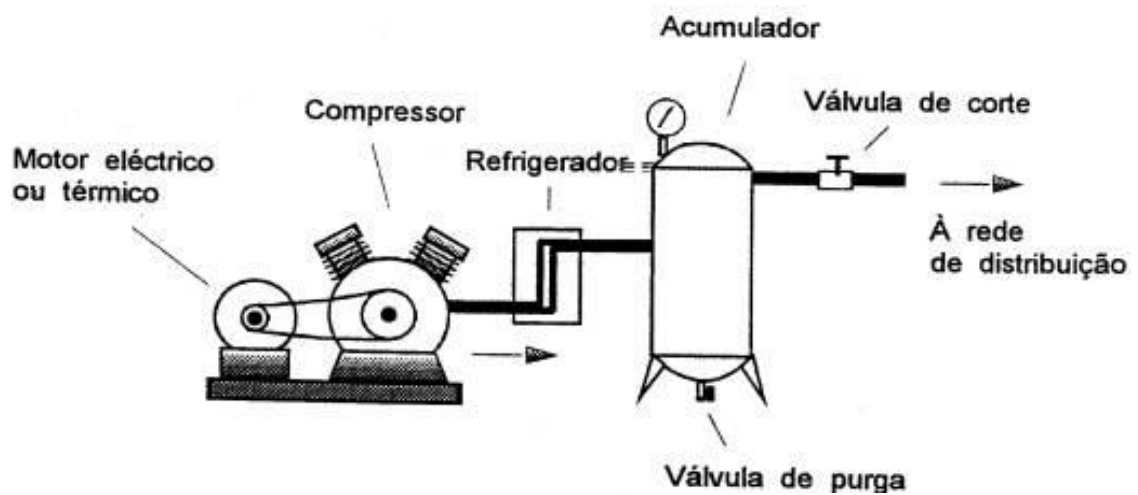
Figura 45– Bomba hidráulica.



Fonte: aecweb.

#### 6.1.8.2 Sistema de ar comprimido de serviço

Figura 46 – Sistema de ar comprimido.



Fonte: tecnicenter (2019)

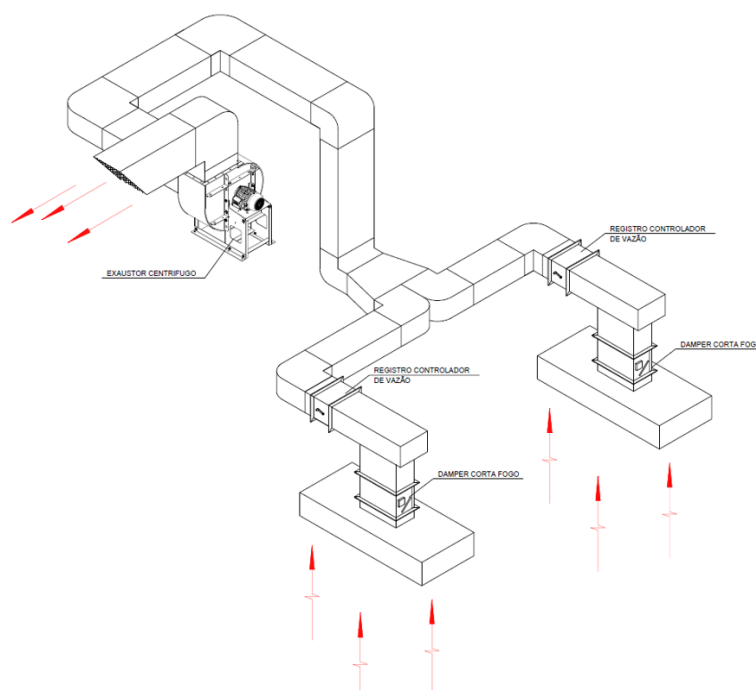
Ar comprimido é o ar estocado em galões, cilindros ou botijões através de processos mecânicos para compressão e armazenamento de ar gerados por um compressor de ar, para

outrora ter sua aplicação efetuada.

Existem equipamentos Pneumáticos como pistões e válvulas que necessitam de um sistema de ar comprimido para alimentar uma tubulação e manter a pressão de trabalho. Geralmente composto por compressores de ar e condensadores (Figura 46).

#### 6.1.8.3 Sistema de exaustão e ar condicionado

Figura 47 – Sistema de exaustão.



Fonte: engearsolucoes.

O sistema de exaustão, Figura 47, e ar condicionado é responsável por manter uma determinada temperatura na casa de força, principalmente onde há maior concentração de painéis e equipamentos elétricos.

Ela é composta por dutos que são acoplados em exaustores movimentados por motores elétricos, distribuindo o ar de forma estratégica pela planta.

#### 6.1.8.4 Sistema de proteção contra incêndio

O sistema de prevenção e combate à incêndio, Figura 48, é imprescindível para proteger uma quaisquer estruturas, sejam residenciais ou industriais. O sistema de prevenção e combate



à incêndio engloba sistemas que detectam o incêndio, acionam alarmes e combatem o incêndio.

Figura 48 – Sistema de prevenção e combate à incêndio.



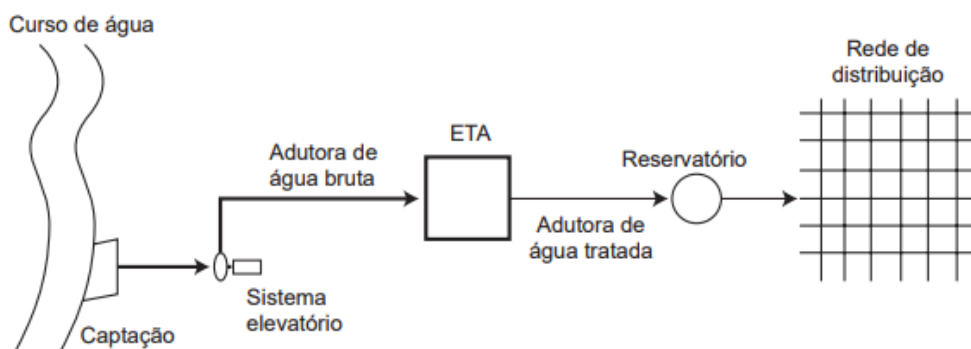
Fonte: prevenfirebrasil.

#### 6.1.8.5 Sistema de água tratada

Para ser considerada água própria para consumo é necessário que se atenda alguns requisitos de potabilidade. Um sistema de abastecimento de água consiste no conjunto de obras, equipamentos e serviços com o objetivo de levar água potável para uso no consumo doméstico, indústria, serviço público, entre outros.

Em uma Pequena Central Hidrelétrica a água tratada é consumida pelos funcionários que ali trabalham, como operadores, técnicos de manutenção, engenheiros, para visitantes e quem mais vir a estar no local.

Figura 49 – Sistema de tratamento de água.



Fonte: ebah.

#### 6.1.8.6 Sistema de esgoto sanitário

O esgoto sanitário, segundo definição da norma brasileira NBR 9648 (ABNT, 1986) é o “despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária”.

Esse sistema tem a mesmo objetivo que o item anterior, atender as necessidades básicas dos trabalhadores e visitantes que esteja no local, de forma estar dentro das normas sanitárias e ambientais.

#### 6.1.8.7 Sistema de separação de água/óleo

A caixa separadora de água e óleo, Figura 50, trabalha com o conceito de coalescência, onde as partículas menores de fluidos multifásicos tendem a se aglutinar em porções maiores e também trabalha com conceito baseada na velocidade de flutuação dos óleos. Uma caixa separadora de água e óleo é um tanque que reduz a velocidade do efluente oleoso de forma a permitir que o óleo livre se separe da água por ação da gravidade.

Desta maneira, os impactos ambientais causados podem e devem ser controlados, até mesmo evitados, investindo em medidas de gestão ambiental, seguindo as legislações e licenças vigentes.

Essa atividade foi considerada sujeita ao licenciamento ambiental pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 237 em 1997, e mais recentemente regulamentada e padronizada pela Resolução CONAMA nº 273 de 2000.

Figura 50 – Sistema de separação água e óleo, Usina Pery, Curitiba/SC.



Fonte: O Autor.

## 6.1.9 Equipamentos e Sistemas Elétricos

### 6.1.9.1 Gerador e Equipamentos associados

“O gerador transforma a energia mecânica produzida pela turbina em energia elétrica, sendo composto da parte fixa, o estator, e da parte rotativa, o rotor. O estator deve ser ancorado no concreto da casa de força, para poder resistir ao momento de torção” (SCHREIBER, 1977).

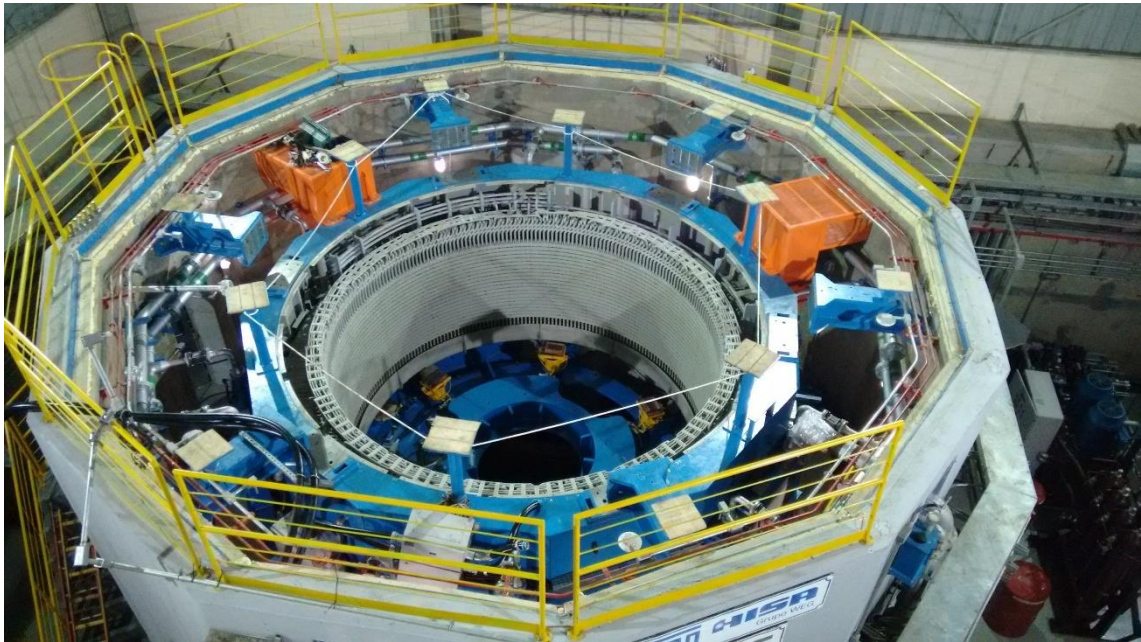
Os polos do rotor, magnetizados por corrente contínua, passam pelas bobinas do estator, induzindo nelas a corrente alternada. A corrente contínua é gerada colocando-se no rotor principal um gerador auxiliar, no qual é ligado, eletricamente, um motor de corrente alternada acoplado a um dínamo que fornece a corrente para a excitação do gerador principal (SCHREIBER, 1977).

As perdas no gerador acontecem normalmente pelo calor gerado. Para o resfriamento, o rotor é equipado com aletas que fazem o ar circular e pode haver ainda radiadores montados na

circunferência externa, refrigerados a água (SCHREIBER, 1977).

O gerador é ligado ao transformador, que eleva a tensão ao nível de transmissão. Essa ligação pode ser feita por cabos para potências de até 50 MVA. Acima desta, devem ser usados barramentos, pois as seções dos cabos seriam muito grandes (SCHREIBER, 1977).

Figura 51 - Gerador Síncrono, Usina Pery, Curitiba SC.



(Fonte: O Autor).

#### 6.1.9.2 Cubículos de média tensão

Geralmente em PCH a tensão de geração se dá em média tensão (13,8 kV), por este motivo há cubículos de media tensão, Figura 52, para abrigar Disjuntores, Chave Fusível, Seccionadoras, TC, TP e outros equipamentos que compõem esta faixa de tensão.

Normalmente os cubículos ficam localizados nas galerias elétricas, normalmente próximo ao gerador e equipamentos elétricos para facilitar e reduzir custos na sua instalação.

Figura 52 – Cubículos de Média Tensão.



Fonte: alset.

#### 6.1.9.3 Sistema de Supervisão, controle e Proteção.

Para o correto funcionamento da usina é necessária a instalação de diversos mecanismos de regulação e controle de seu bom funcionamento, bem como dispositivos de proteção, tanto da usina quanto da linha de saída, diante de possíveis falhas que possam ocorrer.

Os principais aparelhos de controle e sistemas de supervisão em uma usina hidrelétrica de pequena potência são:

Para o controle da turbina:

- a) Regulador de velocidade, principalmente para usinas com geradores síncronos;
- b) Reguladores de nível para usinas com grupos assíncronos;
- c) Regulador de vazão turbinado;

Para o controle do gerador:

- a) Regulador de tensão para os grupos síncronos (RAT);
- b) Equipamento de sincronização, no caso de geradores síncronos conectados à rede;
- c) Baterias de condensadores, no caso de geradores assíncronos conectados à rede.

As proteções para os diferentes sistemas atuam quando se produz algo anormal no funcionamento e podem ativar um alarme, a parada do grupo ou a parada da usina.

As principais falhas nas quais as proteções podem atuar são:

a) Proteções mecânicas:

- Por fuga de turbina e gerador devido à abertura do interruptor de acoplamento da usina com a rede;
- Temperatura do eixo e rolamentos;
- Nível e circulação do fluído de refrigeração;
- Nível mínimo hidráulico;
- Temperatura do óleo do multiplicador de velocidade;
- Desconexão da bomba de óleo de regulação;

b) Proteções elétricas do gerador e transformador principal:

- Intensidade máxima. Relé 50;
- Inversão de potencia ativa (máxima admitida 5% da nominal). Relé 37;
- Aquecimento do gerador e/ou do transformador;
- Derivação no estator. Relé 87;
- Produção de gases no transformador originador por arcos elétricos internos (Buchholz);
- Nível de tensão (entre 68 e 100% da tensão nominal). Relé 27 e 59;
- Nível de frequência (entre 47,5 e 51 Hz). Relé 81;

c) Proteções da linha de saída de média ou alta tensão:

- Derivação de uma fase sob terra. Relé 64L;
- Sobrecorrente. Relé 51;
- Máxima tensão. Relé 59V.

Os relés estão agrupados em um conjunto, chassis ou armário, compacto e diferenciado do resto de equipamentos da instalação. Os circuitos de disparo dos relés atuarão diretamente sobre o interruptor de interconexão (52L).

O fornecimento de tensão em corrente alternada necessária aos sistemas auxiliares normalmente é derivado de uma ou duas fontes de alta tensão, visando assegurar a confiabilidade da operação. A tensão de alimentação dos auxiliares em corrente alternada deve ser compatível com o tamanho da usina e a potência das cargas a serem alimentadas.

Deve ser considerada também a utilização de motores com tensão nominal padronizada, de fácil aquisição no mercado, sem necessidade de encomenda especial no caso de reposição. É recomendada a utilização dos seguintes valores de tensão de alimentação:

- a) 220/127 Vca 60 Hz, sistema trifásico a quatro fios com neutro solidamente aterrado, para as usinas menores;
- b) 380/220 Vca 60 Hz, sistema trifásico a quatro fios com neutro solidamente aterrado, para usinas maiores que requeiram transformador para serviços auxiliares com potência nominal 500 kVA.

Os transformadores para serviços auxiliares devem ser dimensionados para atender ao ciclo de carga mais desfavorável, nas diversas condições de operação, não ultrapassar os valores de queda de tensão admissível para continuidade de operação dos motores durante uma transferência automática e atender às condições de ponta de carga sem redução da vida útil. Para o dimensionamento, deve ser adotado o método de conversão do ciclo de carga real para o ciclo de carga equivalente, estabelecido pela Norma NBR 5416.

Se os transformadores para serviços auxiliares forem instalados dentro da casa de força, deverão ser do tipo seco, com isolamento sólido. Neste caso, devem ser utilizados transformadores de boa procedência, pois seu reparo, se for possível, é de execução difícil.

Figura 53 – Gerador Diesel Cummins.



Fonte: Aecweb.

#### 6.1.9.4 Sistema Auxiliares elétricos de CC

O elevado grau de continuidade dos sistemas de corrente contínua não aterrados, combinado com a seleção criteriosa de equipamentos de boa qualidade e a simplicidade inerente aos sistemas de controle das pequenas centrais, conduz a um sistema de corrente contínua constituído por uma única bateria operando em paralelo com uma unidade retificadora.

Quando se julgar necessário uma maior confiabilidade deve-se adotar um sistema com dois carregadores de baterias para dois conjuntos de baterias e barramentos e dois retificadores, Figura 54. Quando a tensão em corrente contínua está disponível, as baterias ficam continuamente sendo carregadas, permitindo a sua posterior utilização. Sendo assim, não só o atendimento de cargas em corrente contínua fica garantido, mas também o atendimento de cargas prioritárias em corrente alternada, que poderá ser feito com o emprego de inversores. A tensão nominal de 125 Vcc tem demonstrado ser a mais adequada para este tipo de aplicação.

Atualmente, praticamente todos os equipamentos que requerem alimentação em corrente contínua estão disponíveis para alimentação nesta tensão, o que possibilita a utilização de apenas um nível de tensão de corrente contínua na usina.

Figura 54 – Retificador Trifásico.



Fonte: Solucoesindustriais.



#### 6.1.9.5 Sistema de Telecomunicações

Um sistema de telecomunicações seja ele qual for, é composto de um conjunto de equipamentos, o qual tem como objetivo a transmissão de informação entre pontos geograficamente distintos, chamados de fonte e destino, com uma garantia de qualidade. A informação pode ser entendida como uma mensagem gerada pela fonte, podendo ser constituída por sons, imagens, ou mesmo símbolos como caracteres gráficos. Os equipamentos interligados adequadamente garantem o transporte e entrega da informação no destino com a qualidade necessária. Eles são agrupados em pontos ao longo do caminho entre fonte e destino, chamados de nós da rede, rede esta que possibilita a conexão de várias fontes e destinos distribuídos geograficamente. Os nós são interligados por sistemas de transmissão de sinais, os quais representam a informação a ser transmitida. (Coelho, 2008).

Para aplicação em Pequenas Centrais Hidrelétricas encontra-se formas de comunicação voltadas para área industrial, a seguir verifica-se algumas redes industriais:

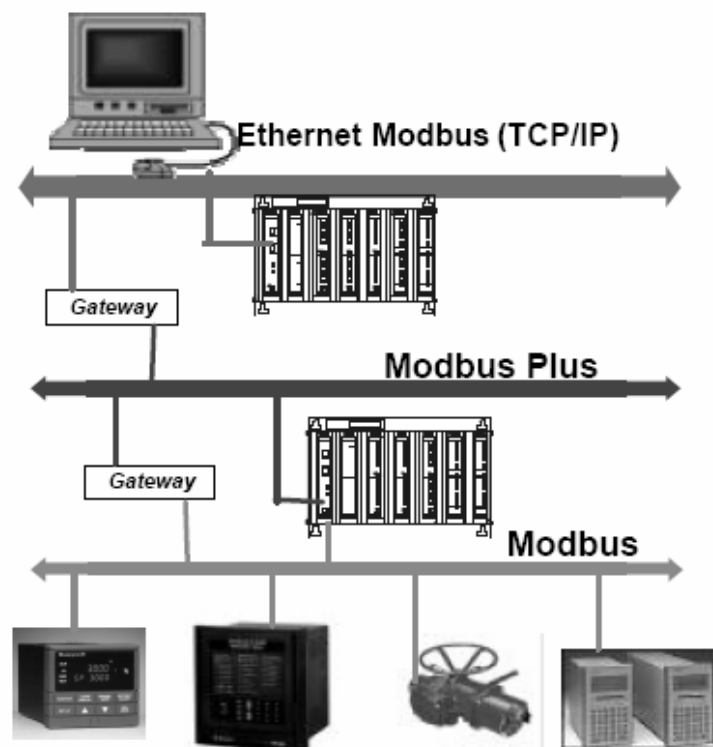
**Rede Modbus:** É uma rede relativamente simples, desenvolvida com o objetivo de permitir a interligação de dispositivos de controle, como controladores programáveis e computadores, normalmente do tipo PC. A rede Modbus está direcionada para a comunicação entre equipamentos de controle. O respectivo protocolo define um conjunto de mensagens que permitem ler e escrever em variáveis remotas (bits/words de memória interna, linha de entrada e saída).

O MODBUS TCP/IP é usado para comunicação entre sistemas de supervisão e controladores lógicos programáveis. O protocolo Modbus é encapsulado no protocolo TCP/IP e transmitido através de redes padrão ethernet com controle de acesso ao meio por CSMA/CD. (Coelho, 2008).

O MODBUS PLUS é usado para comunicação entre si de controladores lógicos programáveis, módulos de E/S, chaves de partida eletrônica de motores, interfaces homem máquina etc. O meio físico é o RS-485 com taxas de transmissão de 1 Mbps, controle de acesso ao meio por HDLC (High Level Data Link Control). (Pereira, 2015).

O MODBUS PADRÃO é usado para comunicação dos CLPs com os dispositivos de entrada e saída de dados, instrumentos eletrônicos inteligentes (IEDs) como relés de proteção, controladores de processo, atuadores de válvulas, transdutores de energia e etc. o meio físico é o RS-232 ou RS-485 em conjunto com o protocolo mestre-escravo. (Pinto, 2008).

Figura 55 – Rede MODBUS.



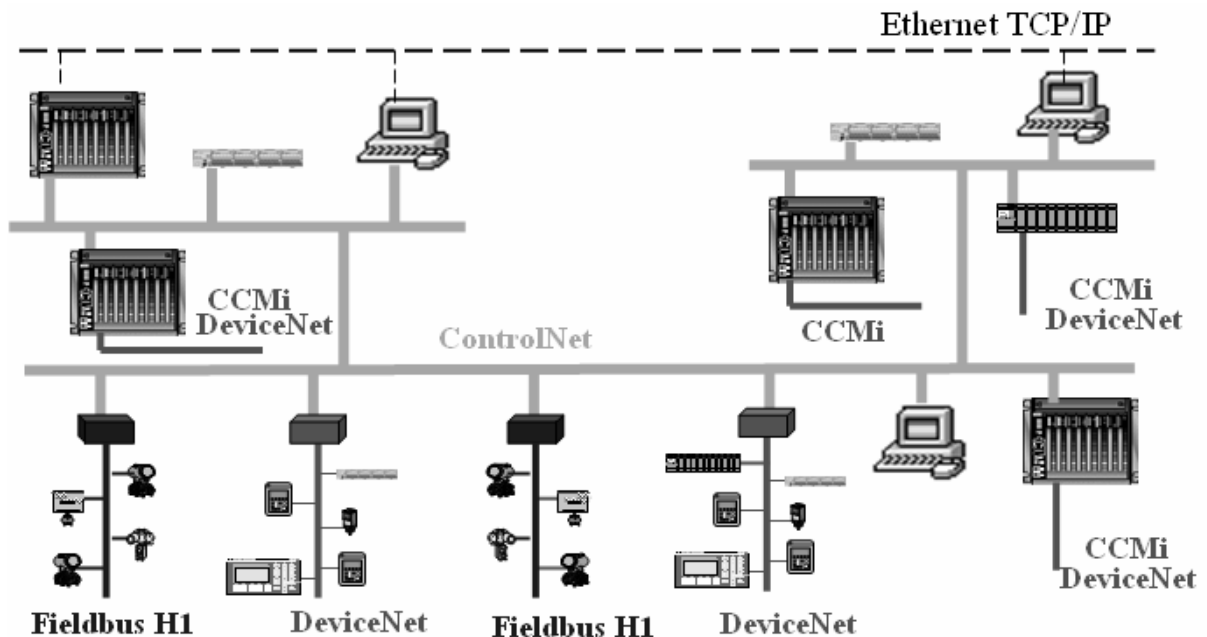
Fonte: Redes de Comunicações Industriais, CEFET (2008).

Rede Devicenet: O DeviceNet, Figura 56, é um link de comunicações para ligar dispositivos industriais (tais como: fim de curso, sensores fotoelétricos, partidas de motor, sensores de processo, leitores de código de barra, drivers de frequência variável, interfaces de usuário, entre outros) a uma rede, eliminando vários cabos.

A direta conectividade proporciona uma comunicação melhorada entre dispositivos, assim como importantes diagnósticos a nível de dispositivos, não facilmente acessível nem disponível em dispositivos de I/O convencionais.

O DeviceNet é uma rede aberta, sendo que a especificação e o protocolo podem ser obtidas na Associação Aberta de Vendedores de DeviceNet, Inc. (ODVA). O DeviceNet é baseado num protocolo de comunicações chamado CAN, que originalmente foi desenvolvido pela BOSCH para o mercado de automóvel europeu para substituir os caros chicotes de cabo por uma rede de baixo custo em automóveis. Como resultado, o CAN tem resposta rápida e confiabilidade alta para aplicações como controle de freios ABS e Air bags. (Coelho, 2008).

Figura 56 – Rede DeviceNet.



Fonte: Redes de Comunicações Industriais, CEFET (2008).

Rede FIELDBUS: FIELDBUS é um sistema de comunicação digital bidirecional que permite a interligação em rede de múltiplos instrumentos diretamente no campo realizando funções de controle e monitoração de processo e estações de operação (IHM) através de softwares supervisórios.

#### 6.1.9.6 Circuito fechado de TV (CFTV)

O circuito fechado de TV é formado pela instalação de diversas câmeras em lugares estratégicos a fim de monitorar as dependências, são instaladas próximas a régua de níveis, canal adutor, portões de acesso, subestações para facilitar a operação de reservatórios e manobras a distância.

#### 6.1.9.7 Sistema de Aterramento, Iluminação, tomadas

Aterramento: Toda instalação elétrica de alta e baixa tensão, para funcionar com desempenho satisfatório e ser suficientemente segura contra riscos acidentais fatais, deve possuir um sistema de aterramento dimensionado adequadamente para as condições de cada

projeto.

Os sistemas de aterramento visam de maneira geral, basicamente:

- a) Segurança de atuação da proteção; Proteção das instalações contra descargas atmosféricas;
- b) Proteção do indivíduo contra contatos com partes metálicas da instalação energizadas acidentalmente;
- c) Uniformização do potencial em toda área de projeto, prevenindo contra lesões perigosas que possam surgir durante uma falta fase a terra.

Iluminação: Não menos importante, o sistema de iluminação deverá atender as normas técnicas e serem colocados de forma a iluminar de forma uniforme todos os pontos da casa de força para que os trabalhos que serão realizados não sejam prejudicados.

Tomadas: Distribuição da quantidade mínima exigida pela norma, de forma a atender todos os setores do edifício facilitando o uso de equipamentos em qualquer lugar.

#### 6.1.10 Subestação Elevadora

Nas centrais hidrelétricas, as subestações cumprem importante função de ligar o gerador, por intermédio de seu transformador, caso exista, ao sistema de transmissão ou distribuição, dependendo de sua localização, finalidade e porte. Este objetivo é alcançado pela conveniente comutação ou manobra de disjuntores e chaves seccionadoras, energizando ou desligando os barramentos e linhas ou cargas conectadas. Além destes, outros componentes auxiliares garantem o cumprimento seguro desta tarefa, tais como, TP, TC, relés, pára-raios, malhas de terra, chaves de aterramento, entre outros.

##### 6.1.10.1 Transformador Elevador

Dependendo do projeto da PCH pode haver um transformador elevador (Figura 57) para cada Unidade Geradora, ou até mesmo um transformador para mais que uma Unidade Geradora, aspectos técnicos como tensão e potência serão dimensionados de acordo com a potência de geração e no caso da tensão se observará a relação entre a tensão de geração e a tensão de transmissão.

Figura 57 – Transformador Elevador.



Fonte: Equipamentos de Alta Tensão

Em uma PCH existe alguns tipos de transformadores cada um com a sua função, Transformadores elevador, serviço auxiliar, excitação, TC, TP etc.

Transformador Elevador: Em uma central hidrelétrica é necessário um equipamento elétrico que tem por objetivo transformar a tensão, medir os diferentes parâmetros da corrente elétrica da central, a conexão à linha de saída e a distribuição da energia.

Um elemento fundamental constitui-se no transformador de tensão. Dependendo da tensão de trabalho do gerador, a transformação pode ser de baixa/média ou de média/alta tensão. O objetivo é elevar a tensão ao nível da linha existente para tornar possível um transporte sem perdas excessivas.

É normal instalá-lo no interior do edifício da central, ainda que em algumas ocasiões seja instalado fora, principalmente quando a tensão de saída é maior do que 30 kV.

Deve contar com um sistema de refrigeração natural ou por circuito fechado de óleo ou silicone. Podem ser:

- a) Transformadores encapsulados em seco (resina epoxy), quando instalados no interior do edifício da usina, minimizando a obra civil da subestação. Apresenta uma menor evacuação de perdas de calor.
- b) Transformadores de óleo mineral. Instalados fora da usina, requerem a construção de um fosso para a coleta de óleo diante de uma fuga ou vazamento. Costumam

alcançar maiores potências nominais do que os secos.

**Transformador de Serviço Auxiliar:** Os serviços auxiliares da usina estão constituídos fundamentalmente pelos elementos que, sem intervir diretamente na produção de energia elétrica, são necessários e inclusive indispensáveis para o processo, o bom funcionamento dos serviços auxiliares depende da confiabilidade e continuidade do serviço.

Os serviços auxiliares se classificam segundo dois aspectos:

- a) Segundo a tensão de alimentação: em corrente alternada ou em corrente contínua
- b) Segundo o grau de segurança e fiabilidade na alimentação:
- c) Serviços auxiliares essenciais: Sistema contra-incêndio, acionamento de interruptores e seccionadores.
- d) Serviços auxiliares seguros ou principais: Iluminação de emergência, sistema de refrigeração do gerador e transformador principal, retificadores para carga do banco de baterias.
- e) Serviços auxiliares normais: Ponte guindaste, bombas de evasão de água, iluminação normal, etc.

**Transformador de Potencial:** Serão instalados dois jogos de três transformadores indutivos monofásicos conectados à fase terra e situados a cada lado do interruptor. Um jogo, conectado ao lado da linha, será dedicado à proteção, enquanto o segundo, conectado depois do interruptor, será utilizado exclusivamente para alimentar o equipamento de medida.

**Transformador de Corrente:** Será instalado um jogo de três transformadores de intensidade com as seguintes características:

- a) Intensidade primária em função da máxima intensidade intercambiada.
- b) Intensidade secundária: 5A.
- c) Enrolamento de campos independentes para medida e proteção.
- d) Classe de precisão: 0,2s para medida e 5P10 para proteção
- e) Potência nominal: para medida e proteção se ajustarão de acordo com o consumo dos secundários
- f) Os transformadores ficarão conectados à terra, de acordo com a regulamentação.

Um transformador consiste basicamente em dois enrolamentos condutivos não conectados eletricamente, e sim através de fluxo magnético. O funcionamento do transformador é baseado em dois princípios: o primeiro, descrito via lei de Biot-Savart, afirma que corrente elétrica produz campo magnético; o segundo, descrito via lei da indução de Faraday-Neumann-Lenz e da lei de Lenz, implica que um campo magnético variável no interior de um circuito

induz tensão elétrica de magnitude diretamente proporcional à taxa temporal de variação do fluxo magnético no circuito. E por necessitar dessa variação no fluxo magnético que esse dispositivo só funciona em corrente alternada. Dito de outra forma, transformadores consistem em dois ou mais enrolamentos posicionados de forma que estejam ligados pelo mesmo fluxo magnético. A alteração na corrente presente no enrolamento do circuito primário altera o fluxo magnético nesse circuito e também no enrolamento do circuito secundário, este último montado de forma a se encontrar sob a influência direta do campo magnético estabelecido no circuito primário. Por sua vez, a mudança no fluxo magnético na bobina secundária induz tensão elétrica na própria bobina secundária.

Como resultado da indução magnética, uma corrente alternada em um enrolamento provoca o surgimento de uma corrente alternada no outro enrolamento. A magnitude comparativa de corrente e tensão em cada um dos lados difere de acordo com a geometria, isto é, com o número de laços em cada enrolamento.

Um transformador é formado basicamente de:

- a) Enrolamentos – os enrolamentos de um transformador são formados de várias bobinas, que em geral são feitas de cobre eletrolítico e recebem uma camada de verniz sintético como isolante.
- b) Núcleo – feito em geral de material ferromagnético, é o responsável por confinar o fluxo magnético, de sorte que quase todo o fluxo que envolve um dos enrolamentos envolve também o outro e, assim, possibilita a transferência de potência do enrolamento primário ao secundário.

Os transformadores trifásicos ou de potência são destinados a rebaixar ou elevar a tensão e, conseqüentemente, elevar ou reduzir a corrente de um circuito, de modo que não se altere a potência do circuito. (FRONTIM, 2013, pag. 188).

#### 6.1.10.2 Disjuntores

O tempo máximo de interrupção para disjuntores classe tensão de 550 kV e 362 kV deve ser de dois ciclos e, para os disjuntores classe de 245 kV e 72,5 kV, deve ser de três ciclos para a frequência de 60 Hz.

A corrente nominal do disjuntor deve ser compatível com a máxima corrente possível na indisponibilidade de um outro disjuntor, no mesmo vão ou em vão vizinho, pertencente ou não a este empreendimento, para os cenários previstos pelo planejamento e pela operação.

Os disjuntores devem ter dois circuitos de disparo independente, lógicas de detecção de discrepâncias de polos e acionamento monopolar. O ciclo de operação nominal deve ser compatível com a utilização de esquemas de religamento automático tripolar e monopolar.

Para disjuntores em níveis de tensão iguais, ou inferiores a 138 kV, não se aplicam acionamento e religamento automático monopolar, podendo o acionamento ser tripolar.

Caberá à Transmissora fornecer disjuntores com resistores de pré-inserção ou com mecanismos de fechamento ou abertura controlados, quando necessário. Os disjuntores devem ser especificados para abertura de corrente de curto-circuito nas condições mais severas de X/R no ponto de conexão do disjuntor, condições estas que deverão ser identificadas pela Transmissora. Em caso de disjuntores localizados nas proximidades de usinas geradoras, especial atenção deve ser dada à determinação da constante de tempo a ser especificada para o disjuntor. Isto se deve à possibilidade de elevadas assimetrias da corrente de curto-circuito suprida por geradores.

Os disjuntores utilizados na manobra de reatores em derivação devem ser capazes de abrir pequenas correntes indutivas e ser especificados com dispositivos de manobra controlada. (FRONTIN, 2013).

Devido a diversas aplicações, existem alguns tipos de disjuntores:

**Disjuntores a Óleo:** Os primeiros disjuntores a serem desenvolvidos foram os disjuntores a óleo. Alguns destes equipamentos estão em operação até os dias de hoje.

Foram desenvolvidos dois tipos básicos de disjuntores a óleo, a saber: disjuntores de grande volume de óleo e de pequeno volume de óleo. No tipo de grande volume de óleo, os contatos ficavam no centro de um grande tanque contendo óleo, que era usado tanto para interrupção das correntes, quanto para prover um isolamento para a terra. No disjuntor de pequeno volume de óleo, o óleo servia principalmente para a extinção do arco e não necessariamente para a isolação entre partes vivas e a terra.

**Disjuntores a Ar Comprimido:** Nos disjuntores a ar comprimido, a extinção do arco era obtida a partir da admissão, nas câmaras de ar comprimido (armazenado num reservatório pressurizado) que, soprado sobre a região entre os contatos, determinava o resfriamento do arco e sua compressão. A reignição do arco em seguida à ocorrência de um zero de corrente era prevenida pela exaustão dos produtos ionizados do arco da região entre os contatos pelo sopro de ar comprimido. A intensidade e a rapidez do sopro de ar garantiam o sucesso do disjuntor nas “corridas” energéticas (liberação versus absorção de energia) e dielétrica (tensão de restabelecimento versus suportabilidade dielétrica).



Disjuntores a SF6: As técnicas de interrupção resumidas acima foram amplamente usadas em sistemas elétricos de transmissão e distribuição. Elas foram sendo progressivamente substituídas pelas técnicas de interrupção a vácuo e a SF6, que não possuem algumas das desvantagens associadas às tecnologias a óleo e a ar comprimido.

Embora o hexafluoreto de enxofre tenha sido sintetizado pela primeira vez em 1904, somente nos anos 1930, a partir da observação de suas excepcionais propriedades dielétricas, o novo gás encontrou uma limitada aplicação como meio isolante em transformadores, Figura 58.

Disjuntores a Vácuo: Nos disjuntores a vácuo, o arco que se forma entre os contatos é bastante diferente dos arcos em outros tipos de disjuntor, sendo basicamente mantido por íons de material metálico vaporizado proveniente dos contatos (catodo). A intensidade da formação desses vapores metálicos é diretamente proporcional à intensidade da corrente e, conseqüentemente, o plasma diminui quando esta decresce e se aproxima de zero. Atingindo o zero de corrente, o intervalo entre os contatos é rapidamente deionizado pela condensação dos vapores metálicos sobre os eletrodos. A ausência de íons após a interrupção dá aos disjuntores a vácuo, características quase ideais de suportabilidade dielétrica.

Figura 58 – Disjuntor Siemens 145 kV, Usina Pery, Curitiba SC.



Fonte: O Autor.

### 6.1.10.3 Chave seccionadora

Figura 59 - Chave seccionadora tripolar, Usina Celso Ramos, Faxinal Dos Guedes SC.



(Fonte: o Autor).

Os seccionadores, Figura 59, devem ser especificados com pelo menos a mesma corrente nominal utilizada pelos disjuntores deste empreendimento, aos quais estejam associadas.

Uma das principais funções do seccionador de alta tensão é garantir uma distância segura de isolamento após a abertura do equipamento de bloqueio da corrente principal, geralmente um disjuntor, propiciando que equipamentos ou linhas de transmissão, por exemplo, possam ser seguramente isolados. Os disjuntores, por si só, não são capazes de oferecer esta garantia, devido à pequena distância de isolamento entre os contatos após a abertura. Do ponto de vista ainda dielétrico, o seccionador deve ainda garantir a perfeita coordenação de isolamento para terra e entre contatos abertos (open-gap). Dessa forma, ainda que em condições extremas, se uma disrupção for inevitável, esta deverá ocorrer para terra, e nunca no gap. Além das solicitações dielétricas, como tensão suportável à frequência industrial (no caso do Brasil, 60Hz), impulsos atmosféricos e de manobra, o equipamento também deverá ser capaz de operar

normalmente sob corrente nominal e suportar os esforços dinâmicos e térmicos de curto-circuito do sistema. Outros fatores que devem ser levados em conta são esforços de vento, de terminais e, em determinadas áreas, esforços sísmicos e capacidade de operação sob acumulação de neve ou gelo nas áreas de condução de corrente elétrica. Este capítulo destacará os seccionadores mais utilizados nas redes elétricas de alta tensão: seccionadores (manobra em vazio) e chaves de aterramento. (FRONTIN, 2013).

#### 6.1.10.4 Transformador de potencial, transformador de corrente

As características dos transformadores de corrente e potencial, como número de secundários, relações de transformação, carga, exatidão etc., devem satisfazer as necessidades dos sistemas de proteção e de medição das grandezas elétricas e medição de faturamento, quando aplicável. (FRONTIN, 2013).

Transformador de Corrente: Os medidores, os relés de proteção e os dispositivos de controle do tipo de corrente alternada funcionam alimentados por tensões e correntes supridas por transformadores de potencial e de corrente, respectivamente. Estes transformadores proporcionam isolamento a alta-tensão do circuito primário. Eles são chamados de transformadores de instrumentos e suprem os medidores, relés de proteção e os dispositivos de controle com tensões e correntes proporcionais às que circulam pelos circuitos de potência, suficientemente reduzidas, de forma que estes instrumentos podem ser fabricados relativamente pequenos, do ponto de vista de isolamento. Os medidores, relés de proteção e outros dispositivos de controle ficam instalados no circuito secundário dos transformadores de instrumentos. (FRONTIN, 2013).

Os transformadores de corrente, também chamados de TCs, têm o seu enrolamento primário ligado em série com o circuito de alta-tensão (ou de potência, também chamado de circuito primário).

A impedância do transformador de corrente, vista do lado do seu enrolamento primário, é desprezível, quando comparada com a impedância do sistema elétrico (sistema de alta-tensão ou de potência) no qual está instalado. Esta impedância é desprezível, mesmo que se leve em conta a carga existente no seu circuito secundário, isto é, a carga formada pelos medidores, relés de proteção e cabos de interligação entre o pátio da subestação (onde ficam os transformadores de corrente) e a casa de controle ou os painéis de comando (onde ficam os medidores, relés de proteção e dispositivos de controle). Desta forma, a corrente que circula no primário dos

transformadores de corrente é ditada pelo que acontece no sistema de alta-tensão ou de potência, chamado de circuito ou sistema primário. Esta corrente, do circuito primário, é chamada de corrente primária. A corrente secundária é uma “imagem” das correntes primárias (corrente de carga ou de curto-circuito), que são transformadas de acordo as características elétricas dos transformadores de corrente. (FRONTIN, 2013).

Existem várias formas construtivas desses transformadores, cada uma com sua aplicação, veremos alguns exemplos abaixo:

**Transformador de Corrente Tipo Enrolado:** Transformador de corrente, cujo enrolamento primário, constituído de uma ou mais espiras, envolve mecanicamente o núcleo do transformador.

**Transformador de Corrente Tipo Barra:** Transformador de corrente cujo enrolamento primário é constituído por uma barra, montada permanentemente através do seu próprio núcleo.

**Transformador de Corrente Tipo Janela:** Transformador de corrente sem primário próprio, construído com uma abertura através do núcleo, por onde passa um condutor que forma o circuito primário.

**Transformador de Corrente Tipo Bucha:** Transformador de corrente tipo janela projetado para ser instalado sobre uma bucha de um equipamento elétrico.

**Transformador de Corrente Tipo com Núcleo Dividido:** Transformador de corrente tipo janela em que parte do núcleo é separável ou basculante, para facilitar o enlaçamento do condutor primário.

**Transformador de Potencial:**

Transformadores para instrumentos (transformadores de corrente e potencial) são utilizados principalmente para isolar o circuito primário do circuito secundário utilizado com instrumentos de medição e proteção. A isolação é obtida pelo acoplamento magnético dos dois circuitos. Além do isolamento entre os dois circuitos, a amplitude da grandeza a ser convertida é reduzida para níveis seguros de serem utilizados em instrumentos de medição/controle e proteção. (FRONTIN, 2013).

Pode-se afirmar que os transformadores para instrumentos são de grande importância no sistema elétrico de potência, sem os quais não seria possível mensurar os valores de corrente e tensão utilizados ou proteger os equipamentos e a vida humana.

Através do enrolamento secundário, se obtém a tensão desejada por meio de uma relação de transformação. Normalmente a tensão secundária é padronizada em 115 V ou  $115/\sqrt{3}$  V. Desta forma, os dispositivos de proteção e medição são dimensionados para níveis de baixa

tensão e isolamento.

Os transformadores de potencial são utilizados para prover sinal de tensão para equipamentos que apresentam elevada impedância de entrada, tais como voltímetros, relés de tensão e bobinas de tensão de medidores de energia. Em instalações convencionais, são instalados junto aos transformadores de corrente. (FRONTIN, 2013).

Na figura abaixo podemos observar dois modelos de transformador de potencial e de corrente.

Figura 60 - Transformador de Potencial e Corrente, Usina Celso Ramos, Faxinal dos Guedes SC.



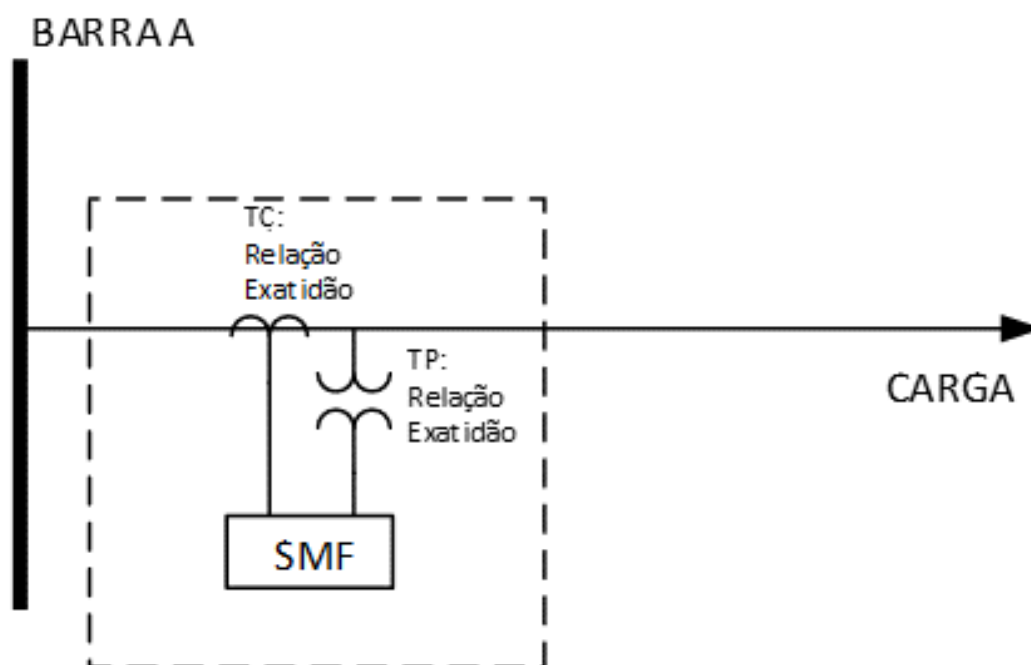
(Fonte: O Autor).

#### 6.1.10.5 Medição de faturamento

O Sistema de Medição para Faturamento (SMF), Figura 61, será composto basicamente pelos Transformadores de Instrumentos (TIs), os Medidores de Energia Principal e Retaguarda, os equipamentos de telecomunicação como conversores, switches, routers e modems, o canal

de comunicação entre a instalação e os agentes que precisam acessar as informações relativas à medição e todos os equipamentos de interligação desses sistemas. Os TIs serão instalados no sistema de potência de forma a medir a energia líquida entregue pela PCH no ponto de conexão ao sistema elétrico. Haverá um Painel de Medição, onde serão instalados os dois Medidores de Energia. Um deles atuará como principal e o outro como retaguarda, funcionando como contingência em caso de falha do Medidor Principal.

Figura 61 - Diagrama unifilar Sistema de Medição de Faturamento.



(Fonte: Cartilha do SMF, ONS).

#### 6.1.10.6 Para-raios

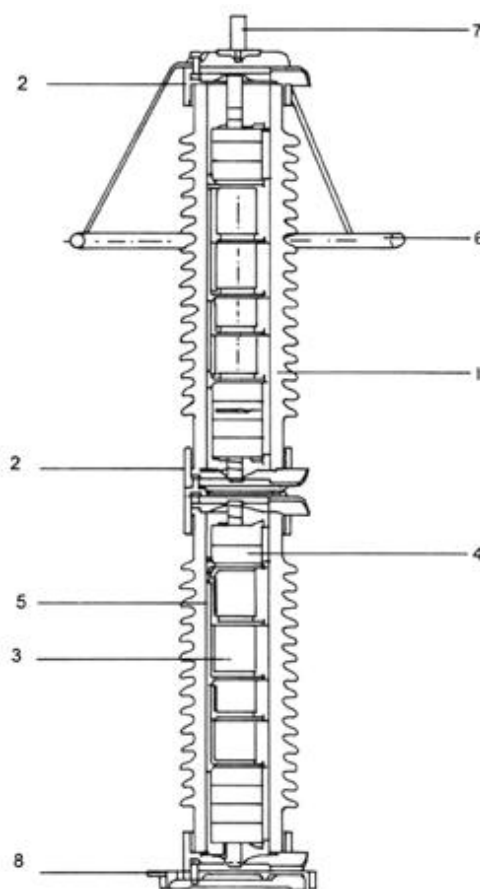
Deverão ser instalados para-raios nas entradas de linhas de transmissão, nas conexões de unidades transformadoras de potência, de reatores em derivação e de bancos de capacitores não autoprotetidos. Os para-raios, Figura 62, devem ser do tipo estação, de óxido de zinco (ZnO), adequados para instalação externa.

Os para-raios devem ser especificados com uma capacidade de dissipação de energia suficiente para fazer frente a todas as solicitações identificadas nos estudos. (FRONTIN, 2013).

Os para-raios ou, de forma mais genérica, supressores de surtos de tensão, são os equipamentos responsáveis pelo controle de parte das sobretensões existentes nos sistemas elétricos de potência, contribuindo decisivamente para a sua confiabilidade, economia e continuidade de operação.

Os equipamentos de uma subestação podem ser solicitados por sobretensões provenientes de ocorrências internas ao sistema ou associadas com a ocorrência de descargas atmosféricas. Com o objetivo de impedir que estes equipamentos sejam danificados, é necessária a instalação de dispositivos de proteção contra sobretensões, sendo os para-raios os equipamentos adequados para esta finalidade. Atuam como limitadores de tensão, impedindo que valores acima de um determinado nível preestabelecido em projeto, adequados para fornecer uma margem de segurança, normalmente padronizada, possam alcançar os equipamentos para os quais fornecem proteção.

Figura 62 – Seção transversal de um para-raios convencional a carboneto de silício.



Fonte: Brown Boveri – ABB

Figura 63 - Para Raio, Usina Celso Ramos, Faxinal dos Guedes SC.



(Fonte: O Autor).



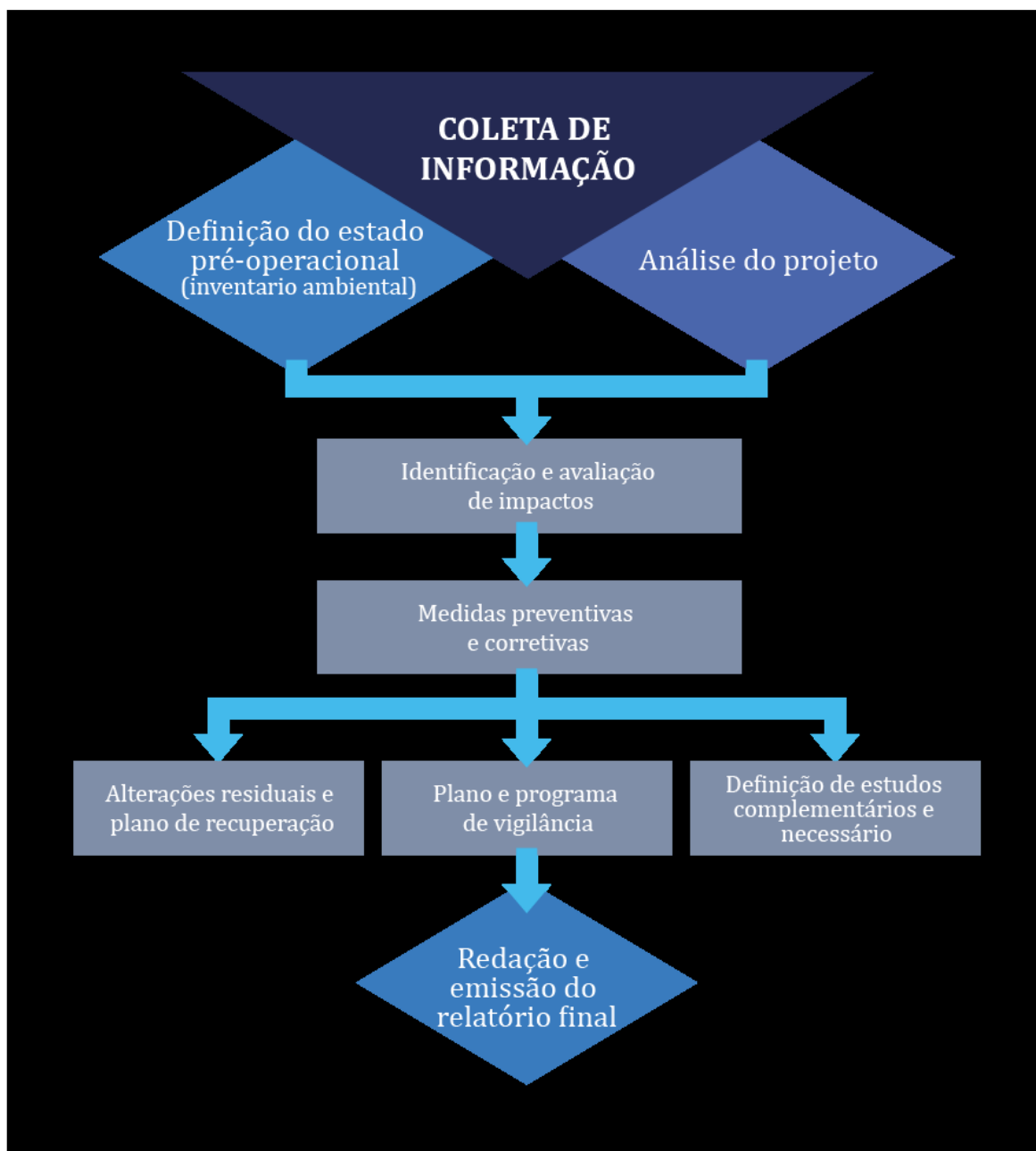
## 7 ESTUDO DE IMPACTOS AMBIENTAIS

Os Estudos de Impacto Ambiental (EIA) pretendem analisar e compreender a relação de incidência entre um projeto determinado e o meio afetado.

A avaliação do impacto ambiental exige comparar as situações do meio em cada uma das fases do projeto: construção, exploração e abandono.

Na figura 64 a seguir pode-se observar as fases de estudo de avaliação de impacto ambiental:

Figura 64 – Fases de um estudo de avaliação de impacto ambiental



Fonte: IDAE

O objetivo da identificação de impactos é analisar os possíveis impactos que podem ser produzidos e o da avaliação é considerar a gravidade de cada afetação ambiental de acordo com distintos critérios.

Dentre as possíveis alterações do meio físico que as instalações hidrelétricas podem gerar durante a etapa de construção e a etapa de exploração, encontram-se:

- a) A inundação de extensas áreas a montante do ponto no qual se coloca o açude ou represa;
- b) Perdas de solo agrícola, pecuária ou florestal com erosão e inundação;
- c) Reajustes das correntes de água e efeitos associados sobre a qualidade e quantidade de água e fauna aquática;
- d) Redução da diversidade biológica;
- e) Efeito barreira do açude ao trânsito de fauna;
- f) Impacto acústico originado pelas turbinas e geradores;
- g) Desaparição de espécies animais por degradação ou destruição de seu habitat;
- h) Subtração de vazões de água aproveitáveis para outros usos;
- i) Detração de vazões e efeitos sobre a qualidade de água por fuga, descarga temporal de lodos e diminuição da capacidade de diluição do trecho do rio afetado. Eutrofização (diminuição do conteúdo de oxigênio dissolvido na água);
- j) Impacto de aves na rede elétrica.

Após a identificação dos possíveis impactos ambientais inicia-se a medidas preventivas e corretivas que serão aplicadas de acordo com a fase que está o projeto (construção ou operação).

Fase de Construção

Alterações no habitat:

- a) Perda do solo por Erosão;
- b) Destruição da vegetação e do habitat para determinadas espécies animais;
- c) Efeitos sobre a qualidade da água;

Alterações na paisagem devido a movimento de terras, construção do edifício, condutos forçados e canais de derivação, Faixas de acesso.

Medidas Corretoras:

- a) Revegetação de encostas, terraplenos e superfícies nuas;

- b) Cuidados durante a fase de construção;
- c) Evitar o derramamento acidental;
- d) Revegetação e remodelação das inclinações
- e) Respeitar o tipo de construção na zona
- f) Enterro de tubos
- g) Reposição da vegetação

#### Fase de Operação

##### Alteração do Habitat:

- a) Erosão hídrica na saída de água da turbina
- b) Efeitos sobre a qualidade da água por formação de reservatórios, descarga temporal de limos, diminuição da capacidade de diluição;
- c) Efeitos de barreira pela represa ou açude
- d) Aumento do nível de ruído

##### Medidas corretivas:

- a) Estabelecer um canal de drenagem Diminuição dos fluxos Manutenção da vazão ecológica ou de servidão;
- b) Evitar a termoclina com descargas de fundo para as plantas de regulamentação própria e saneamento;
- c) Evitar a construção em momentos difíceis (seca, desova dos peixes). Se possível, realizado de forma gradual;
- d) Manter um fluxo mínimo Impactos de aves em linhas eléctricas Desenho de apoios e instalação de elementos para salvar as aves;
- e) Instalar passagem para peixes Diminuição dos fluxos utilizável para outros usos Manutenção dos fluxos;
- f) Insonorização do edifício e da turbina.

## 7.1 EFEITOS POSITIVOS DO PONTO DE VISTA AMBIENTAL

Do ponto de vista ambiental, a energia hidrelétrica apresenta efeitos positivos como:

- a) Seu uso não consome água: esta se coleta do rio em um ponto e é devolvida no curso em uma quota inferior, uma vez utilizada;

- b) Auto-abastecimento: seu desenvolvimento origina a redução da dependência do setor energético exterior e o reforço da segurança de abastecimento; Energia limpa: não produz resíduos contaminantes (ou em mínima proporção), exceto na fase de construção (nesta fase devem ser implantadas medidas minimizadoras dos impactos ambientais) e na de abandono;
- c) A energia hidrelétrica constitui um recurso renovável, não emite CO<sub>2</sub> à atmosfera, não contribui com a chuva ácida e não produz resíduos tóxicos de difícil eliminação;
- d) Efeitos mínimos (quase nulos) sobre o meio ambiente: os impactos gerados são pequenos e facilmente minimizáveis ou evitáveis (escada de peixes, vazão ecológica, soterramento de instalações e condutores, etc.). Deve ser realizado um estudo ambiental específico e desenvolver-se as medidas corretivas;
- e) Proximidade das áreas de demanda: Normalmente as mini usinas estão localizadas próximas dos pontos de consumo. A distância entre a geração e as áreas de consumo gera perdas de 10% líquidos de eletricidade;

O estudo de impacto ambiental (EIA) desenvolvido em um projeto de uma mini usina hidráulica é de realização e apresentação obrigatória ao organismo correspondente que gerencie os recursos hidráulicos da área na qual se pretende realizar o projeto. Outorgar a concessão de água passa obrigatoriamente por este trâmite que deve ser submetido, ademais, à informação pública durante um período de tempo determinado. Neste tema abordou-se as fases para tramitação de um EIA, a identificação e avaliação dos impactos e as medidas preventivas e corretivas que devem ser realizadas, tanto na fase de construção da usina hidráulica, quanto na fase de exploração.

## 8 ASPECTOS ECONÔMICOS

Como visto ao longo destas Diretrizes, a implantação de uma usina hidrelétrica, no caso uma PCH, importa em custos que, evidentemente, devem gerar benefícios econômicos e ambientais que compensem os investimentos a serem realizados (Eletrobrás, 2000).

Os benefícios econômicos significam recompensar financeiramente os investimentos realizados, garantindo ao investidor o retorno do capital aplicado. Ressalta-se que, do ponto de vista de política macroeconômica, no Brasil, a implantação de uma usina hidrelétrica, que utiliza um recurso renovável e abundante como combustível, no caso a água, substitui, com algumas vantagens, incluindo os aspectos ambientais, a implantação de usinas que utilizam outros combustíveis (óleo, carvão, gás, etc.) (Eletrobrás, 2000).

Os benefícios ambientais significam as melhorias no padrão de vida da população que usufruirá da energia a ser produzida, principalmente nos casos em que a PCH for implantada em região pouco desenvolvida. Os reflexos sobre todos os setores da economia regional são imediatos, incluindo também os associados às condições de saúde da população. (Eletrobrás, 2000).

As melhorias, em alguns casos, são quantificáveis através de previsões, como, por exemplo, o aumento da produção agrícola e industrial e, ainda, na oferta de empregos locais, diretos e indiretos. Em outros casos, a quantificação das melhorias é difícil, como, por exemplo, as relacionadas com a saúde, lazer e bem estar da população, advindas da iluminação pública e doméstica, bem como as possibilidades de recreação em torno do reservatório. A análise financeira do empreendimento deverá ser feita considerando o resultado dos Estudos Finais realizados, incluindo todos os custos para implantação da PCH. (Eletrobrás, 2000).

A avaliação da economicidade de um empreendimento desta natureza pode ser efetuada com diversos graus de profundidade e de diferentes maneiras.

Todos os métodos devem permitir a avaliação da viabilidade financeira do empreendimento, no período ou horizonte determinado (prazo de autorização, vida útil do empreendimento ou outro período escolhido), considerando-se as entradas e saídas de capital (fluxo de caixa) no referido período. A análise financeira, do ponto de vista do investidor ("equity"), deverá ainda levar em conta, não só a remuneração requerida do seu capital (capital próprio), mas a do capital de terceiros (empréstimo, ou outras formas de participação de terceiros). (Eletrobrás, 2000).

Dentre os métodos de análise financeira, são muito utilizados o método do fluxo de

caixa descontado (valor presente líquido – VPL), o método da taxa interna de retorno do investimento (TIR), o método das mínimas receitas requeridas, além de outros que possibilitem a determinação da viabilidade ou não do empreendimento.

Na análise a ser feita sugere-se determinar a tarifa de equilíbrio do empreendimento, utilizando um dos métodos mencionados ou outro semelhante. A tarifa de equilíbrio do empreendimento será, aquela que representa o valor mínimo, pelo qual a energia vendida, durante o período ou horizonte determinado, equilibra todos os custos envolvidos, incluindo as remunerações do capital próprio e de terceiros.

Receita de Venda de Energia (RE) – Representa a receita anual com a venda de energia a uma tarifa TE, na moeda escolhida. Neste cálculo a energia utilizada deverá ser a efetivamente contratada (energia garantida).

Subsídio da Conta de Consumo de Combustível (CCC) - Deverá, quando aplicável, ser considerado como valor reembolsado e deste modo isento de pagamento de imposto de renda . Considerar o aproveitamento isoladamente.

Custos Anuais de Operação e Manutenção (O&M) - Representa os custos de operação e manutenção da usina e de todo o pessoal administrativo durante o período de análise, na moeda escolhida. O custo de operação e manutenção deverá ser baseado em: composição de custos, experiências anteriores, grau de automação, etc, sendo que, na falta de outros métodos, sugere-se utilizar como estimativa o valor de 5% do custo total do investimento inicial.

Depreciação – Representa o valor anual de depreciação da usina, permitido por lei.

Despesa Financeira – Representa o custo do financiamento (juros), durante o período de amortização estipulado, bem como os juros durante a construção, para o empréstimo tomado, se for o caso.

Impostos e Taxas (I & T) – Os impostos e taxas anuais incidentes neste tipo de empreendimento e que deverão ser considerados, prioritariamente, são:

- a) Cotas Anuais da Reserva Global de Reversão (RGR) – O valor é estabelecido anualmente pela ANEEL. Como estimativa, considerar 2,5% do investimento anual do concessionário, no empreendimento, observado o limite de 3,0% da receita anual de venda de energia oriunda do mesmo;
- b) Taxa de Fiscalização da ANEEL (TFSEE) – O valor é estabelecido anualmente pela ANEEL . Como estimativa, considerar 0,5% do valor da receita anual de venda de energia auferida pelo empreendimento;
- c) Compensação Financeira - Refere-se a pagamento devido aos Estados, ao

Distrito Federal e aos Municípios pelo uso dos recursos hídricos. Este valor poderá ser estimado, considerando-se 6% do montante de energia gerada, valorada à tarifa estabelecida pela ANEEL, para este fim. Segundo a legislação em vigor estão isentas de pagamento as centrais hidrelétricas consideradas PCHs. Ver legislação pertinente;

- d) PIS – Ver legislação pertinente;
- e) COFINS - Ver legislação pertinente;
- f) Outros - incluir outras despesas, tributos ou taxas não indicadas e que devam ser consideradas.

Encargos de Transmissão – Refere-se, quando aplicável, ao custo do uso da rede de transmissão de energia elétrica.

Seguros – Refere-se ao custo dos seguros contratados pelo empreendedor, contribuição Social - Ver legislação pertinente.

Imposto sobre a Renda (IR) – Representa a provisão para pagamento do Imposto sobre a Renda.

Investimento Fixo (If)- Representa o montante de capital próprio investido na implantação do empreendimento. Devem ser incluídos os gastos com o sistema de transmissão de energia associado (Linhas de Transmissão e Subestações necessárias à entrega da energia gerada aos compradores).

Amortização – Representa a parcela do financiamento correspondente as amortizações do valor de empréstimo assumido (capital de terceiros).

Valor Residual - (VRn) – Representa o valor residual da usina no final do horizonte de planejamento ou recuperação do capital. O investidor deverá considerar este parâmetro quando desejar recuperar o seu investimento em tempo inferior ao prazo legal de depreciação instituído pela ANEEL (50 anos – Resolução 44 de 17/03/1999). Para a estimativa do valor residual da usina, no final do horizonte de planejamento, sugere-se a seguinte sistemática:

$$VRn = Ci \cdot \frac{Vu - n}{Vu} \quad (19)$$

Onde:

VRn = valor residual para o horizonte (n anos), para a recuperação do investimento ( anos);

Ci = custo total do empreendimento, na moeda escolhida, no ano zero ( capital próprio + capital de terceiros);

$V_u$  = vida útil da usina, normalmente adotado no Setor Elétrico Brasileiro como sendo igual a 50 anos;  $n$  horizonte de planejamento ( anos).

Taxa de desconto-  $i$  (%)= O recomendável é utilizar como taxa de desconto o custo médio de oportunidade do capital ( CAPM - Capital Asset Pricing Model).

Alternativamente pode-se utilizar a taxa de atratividade requerida pelo investidor.

Após a determinação do fluxo de caixa a resolução do problema passa a ser, então, encontrar uma tarifa de equilíbrio  $TE$  , que com a taxa de desconto  $i$  %, resulte numa receita anual  $RE$ , capaz de equilibrar os custos anuais envolvidos na implantação e operação da usina, no horizonte de planejamento de  $n$  anos, ou seja, que leva a um VPL igual a zero.



## 9 CONCLUSÃO

Devido à importância que a energia elétrica representa para o desenvolvimento de qualquer nação, o planejamento no setor elétrico é de extrema importância para que novas fontes de geração surjam de forma a suprir as necessidades dos consumidores de forma adequada.

A geração nos dias atuais precisa ser sustentável, agredir o mínimo possível o meio ambiente, porém precisamos torná-la uma fonte segura e de confiança tornando assim nosso Sistema Interligado eficaz.

Uma solução inteligente e que vem sendo utilizada é a construção de pequenas centrais hidrelétricas, onde pode-se utilizar o rico potencial hídrico do Brasil sem agredir severamente o meio ambiente, tornando assim uma fonte de geração sustentável que atende o setor elétrico com confiança e de forma distribuída.

Outro fator importante citado no estudo é a complexidade para colocar uma PCH em funcionamento. Vários estudos devem ser feitos, devendo-se obter licenças para construção e operação o que acaba sendo por vezes complicado quando as normas e legislações não são obedecidas. Portanto um longo caminho é percorrido devido à burocracia.

Aspectos construtivos também foram abordados, mostrando novamente a complexidade para se escolher turbinas, geradores, as tensões de geração, tipo de arranjo, transformadores elevadores, isso sem contar os demais equipamentos como os de controle, proteção e medição.

Apesar de ser utilizado a expressão Pequenas Centrais Hidrelétricas, nota-se que elas acabam sendo grandes construções quando envolvemos todos os aspectos de estudo para sua operação. A elaboração deste trabalho auxiliará no conhecimento e entendimento das etapas que envolvem a implantação de uma pequena central hidrelétrica, assim novos investidores serão atraídos para explorar o enorme potencial hídrico que o Brasil possui, de forma sustentável e economicamente viável.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Capacidade de Geração do Brasil**. Banco de Informações de Geração. Brasília, 2016. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 19/05/2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resolução normativa nº 673**, de 4 de agosto de 2015, Art2. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015673.pdf>>. Acesso em: 30 de Julho de 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Prodinst. módulo 3. **Acesso ao Sistema de Distribuição**. Revisão 7, 2017.

CENTRAIS ELÉTRICAS DO BRASIL (ELETROBRÁS). **Diretrizes de estudos e projetos de pequenas centrais hidrelétricas**. Rio de Janeiro, 2000.

CHIOSSI, N. **Geologia de engenharia**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

COELHO, M. S. **Comunicação Industrial, Padrões Industriais**. 5º Módulo, Janeiro de 2008.

CRUZ, T.B. **Estimativas de potenciais hidrelétricos remanescentes de PCH's com base em ferramentas de geoprocessamento**. (Projeto final de graduação em engenharia hídrica). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2008.

ELETROBRÁS: Centrais elétricas S.A. **Critérios de projeto civil de usinas hidrelétricas**. Brasília: CBDB, 2003.

ELETROBRÁS: Centrais elétricas S.A. **Diretrizes para projetos de PCH**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://www.eletrabras.com/ELB/data/Pages/LUMISF99678B3PTBRIE.htm>> Acesso em:

17/05/19.

EMPSON, W. **Oficina sobre segurança de barragens**, Brasília.: Buildin Strong, 2013. Disponível em: <<http://slideplayer.com.br/slide/1851855/>>. Acesso em: 25 de maio de 2019.

FARIA, F. A. M. **Metodologia de prospecção de pequenas centrais hidrelétricas**. Dissertação (mestrado): Escola politécnica da universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo, 2011.

FILHO, J. A. G. **Desempenho de obras geotécnicas**. Recife: Universitária da UFPE, 2006.

FLÓREZ, O. R. **Pequenas Centrais Hidrelétricas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

FRANÇA M. L. C.; FREITAS, Z. B. **Guia para apresentação de trabalhos técnico-científicos do Unifemm**. Sete Lagoas, 4. ed. 2015.

FRONTIN, O. S. **Equipamentos de Alta Tensão – Prospecção e Hierarquização de Inovações tecnológicas**, 1ª Edição Brasília, 2013.

LIMA, M. J. **Usinas Hidrelétricas: Diretrizes básicas para proteção e controle**. Rio de Janeiro, Synergia editora, 2ª Edição, 2016.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Manual de inventário hidrelétrico de bacias hidrográficas**. Rio de Janeiro: E-papers, 2007.

PEREIRA, M. G. **Projeto de usinas Hidrelétricas: Passo a Passo**. São Paulo: Oficina de Textos, 1ª edição, 2015.

SÁ, C. M. **Micro, mini e pequenas centrais hidrelétricas**. Goiânia: Kelps, 2009.

SCHREIBER, G.P. **Usinas Hidrelétricas**. São Paulo, Edgar Blucher; Rio de Janeiro,

ENGEVIX, 1977.

SCHREIBER, G. P. **Usinas hidrelétricas**. São Paulo; Edgard Blücher, 1978.

SOUZA, de Z; SANTOS A. H. M.; BORTONI, E.C. **Centrais Hidrelétricas: estudos para implantação**. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS, 1999.

SOUZA, Z.; SANTOS, A. H. M. S.; BORTONI, E. C. **Centrais hidrelétricas: Implantação e comissionamento**. Rio de Janeiro: Interciência, 2. Ed, 2009.

US ARMY CORPS OF ENGINEERS (USACE). Geotechnical investigations. 2001. Disponível em: <<http://140.194.76.129/publications/eng-manuals/>>. Acesso em: 25 de Jan. de 2019.