



**Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Departamento de Engenharia Elétrica**

## **Trabalho de Conclusão de Curso**

# **Avaliação Econômica de Geração de Energia Elétrica entre Sistemas Híbridos de PCHs e Termoelétricas**

Autor:

**Maicon Vendramini Polizeli**

Número USP:  
**5794493**

Orientador:

**Prof. Dr. Frederico Fábio Mauad**

**São Carlos, Novembro de 2011.**

**Maicon Vendramini Polizeli**

**Avaliação Econômica de Geração de Energia  
Elétrica entre Sistemas Híbridos de PCHs e  
Termoelétricas**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Escola de Engenharia de São Carlos da  
Universidade de São Paulo

Curso de Engenharia Elétrica com ênfase em  
Sistemas de Energia e Automação

ORIENTADOR: Prof. Dr. Frederico Fábio Mauad

São Carlos

2011

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento  
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

P775a

Polizeli, Maicon Vendramini.  
Avaliação econômica de geração de energia elétrica  
entre sistemas híbridos de PCHs e termoelétricas. /  
Maicon Vendramini Polizeli ; orientador Frederico Fábio  
Mauad -- São Carlos, 2011.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com  
ênfase em Sistemas de Energia e Automação) -- Escola de  
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,  
2011.

1. Pequena central hidroelétrica (PCH).
2. Termoelétricas.
3. Sistema híbrido.
4. Geração de energia.
5. Avaliação econômica.

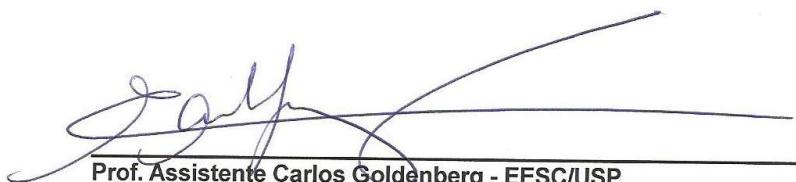
# FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Maicon Vendramini Polizeli

Título: "Avaliação Econômica de Geração de Energia Elétrica entre Sistemas Híbridos de PCH's e Termoelétricas"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado  
em 25 / 11 / 2011,

com NOTA 10,0 (dez , ), pela comissão julgadora:



Prof. Assistente Carlos Goldenberg - EESC/USP

Renato Billia de Miranda  
MSc. Renato Billia de Miranda - EESC/USP



Prof. Associado Homero Schiabel  
Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica  
EESC/USP

## Dedicatória

Aos meus pais, Roberto e Lidia, aos meus  
irmãos, Roberto e Mateus, a Mayra e a minha  
namorada, Renata, com amor.

## **Agradecimentos**

- À Cindy, por todo amor, carinho, força e paciência em todos os momentos de sua vida.
- À Eliana, por sempre estarem do meu lado nos momentos mais difíceis.
- Ao professor Frederico Fábio Mauad, pela orientação e comprometimento na elaboração deste trabalho.
- Aos professores Carlos Goldenberg, Jerson Vargas, José Carlos de Melo Vieira Júnior, pelo auxílio durante todo o período de minha graduação.
- Aos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica, que de algum modo colaboraram durante a minha graduação nesta universidade.
- Ao Núcleo de Hidrometria do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada da Escola de Engenharia de São Carlos (USP), pela participação, ajuda e fornecimento de todas as condições necessárias para o desenvolvimento deste trabalho.
- À Deus, por toda minha família e amigos.

## Sumário

<b>Dedicatória</b> .....	i
<b>Agradecimentos</b> .....	ii
<b>Sumário</b> .....	iii
<b>Lista de Figuras</b> .....	vi
<b>Lista de Tabelas</b> .....	viii
<b>Lista de Siglas, Símbolos e Abreviaturas</b> .....	ix
<b>Resumo</b> .....	xi
<b>Abstract</b> .....	xii
<b>Capítulo 1</b> .....	1
<b>Introdução</b> .....	1
1.1) Organização do Trabalho .....	1
1.2) Objetivos .....	3
<b>Capítulo 2</b> .....	4
<b>Evolução da Energia Elétrica no Brasil</b> .....	4
2.1) Matriz energética .....	9
2.2) Consumo.....	11
2.3) Expansão do Sistema Nacional.....	12
<b>Capítulo 3</b> .....	14
<b>Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs)</b> .....	14
3.1) Caracterização .....	14
3.2) Classificação .....	15
3.3) Benefícios concedidos por leis .....	16
3.4) O Potencial hidroelétrico.....	17
3.5) Arranjos de centrais hidroelétricas.....	18
3.6) Componentes construtivos .....	20
3.6.1) Barragem.....	20
3.6.2) Vertedouro.....	21
3.6.3) Tomada d'água.....	21
3.6.4) Sistema de adução.....	22
3.6.5) Tubulação.....	23

3.6.6) Câmara de carga .....	23
3.6.7) Canal de fuga .....	25
3.6.8) Casa de máquinas.....	25
3.6.9) Turbinas hidráulicas.....	25
3.6.10) Gerador .....	29
3.6.11) Subestação transformadora.....	30
3.6.12) Linha de transmissão.....	31
<b>Capítulo 4.....</b>	<b>32</b>
<b>Central Termoelétrica.....</b>	<b>32</b>
4.1) Princípio de funcionamento .....	32
4.2) Componentes construtivos .....	37
4.2.1) Caldeira .....	37
4.2.2) Turbina a vapor .....	38
4.2.3) Turbina a gás.....	40
4.2.4) Equipamentos auxiliares.....	42
4.2.5) Gerador, subestação e linhas de transmissão .....	42
<b>Capítulo 5.....</b>	<b>43</b>
<b>Sistema Híbrido .....</b>	<b>43</b>
5.1) Definição .....	43
5.2) Sistema híbrido PCH-Biomassa .....	44
5.3) Vantagens e desvantagens .....	47
5.4) Análise ambiental .....	47
5.5) Análise econômica .....	48
5.5.1) Fluxo de caixa .....	48
5.5.2) Taxa Mínima de Atratividade (TMA) .....	49
5.5.3) Valor Presente Líquido (VPL) .....	49
5.5.4) Taxa Interna de Retorno (TIR).....	50
5.5.5) Perpetuidade .....	51
5.5.6) Valor Residual (VR).....	51
5.5.7) <i>Payback</i> .....	52

5.5.8) Tributação .....	52
5.5.9) Depreciação .....	52
<b>Capítulo 6.....</b>	<b>53</b>
<b>Resultados da Avaliação Econômica do Sistema Híbrido PCH-Biomassa – Um Estudo de Caso.....</b>	<b>53</b>
6.1) Estudo de viabilidade econômica .....	53
6.1.1) Ganhos econômicos .....	53
6.1.2) Custos do Empreendimento .....	55
6.2) Cálculo do estudo de viabilidade econômica .....	57
6.2.1) Premissas do cálculo de viabilidade econômica preliminar.....	57
Os índices sugeridos nessas premissas são fictícios, e estimados pelo autor.....	57
6.2.2) Cronograma do empreendimento .....	58
6.2.3) Fluxo de Caixa do Empreendimento.....	59
6.2.4) Valor presente líquido do empreendimento.....	59
6.2.5) Estudo de viabilidade técnica e econômica preliminar .....	60
<b>Capítulo 7.....</b>	<b>63</b>
<b>Conclusões.....</b>	<b>63</b>
7.1) Considerações sobre as metodologias apresentadas.....	63
7.2) Sugestões para continuidade da pesquisa .....	65
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>66</b>
<b>Apêndice A .....</b>	<b>73</b>
<b>Software de Avaliação Econômica.....</b>	<b>73</b>

## **Lista de Figuras**

Figura 1 - Estrutura organizacional do setor elétrico antes da reestruturação .....	5
Figura 2 - Estrutura organizacional do setor elétrico depois da reestruturação.....	6
Figura 3 - Estrutura institucional do setor elétrico .....	7
Figura 4 - Cenário mundial de oferta e energia em 2008.....	9
Figura 5 - Consumo final energético por fonte no Brasil .....	9
Figura 6 - Estrutura da oferta de energia elétrica no Brasil.....	10
Figura 7 - Taxas médias de crescimento anual, por período (%).....	12
Figura 8 - Empreendimentos futuros .....	13
Figura 9 - Central hidrelétrica de Represamento – CHR.....	19
Figura 10 - Central Hidrelétrica de Desvio – CHD .....	19
Figura 11 - Central Hidrelétrica de Derivação – CHV .....	20
Figura 12 - Canal de adução .....	22
Figura 13 - Sistema de adução é construído por um canal a céu aberto .....	24
Figura 14 - Sistema de adução através de tubulação de baixa pressão.....	24
Figura 15 - Canal de fuga.....	25
Figura 16- Turbinas de ação .....	26
Figura 17 - Turbina Pelton.....	26
Figura 18 - Turbinas de reação .....	27
Figura 19 - Turbina Francis .....	27
Figura 20 - Turbina Kaplan.....	28
Figura 21 - Escolha do tipo de turbina através da queda líquida e vazão .....	29
Figura 22 - Subestação .....	31
Figura 23 - Linha de transmissão ideal.....	31
Figura 24 - Fluxograma básico de uma central térmica .....	32
Figura 25 - Modelo esquemático simplificado de uma termoelétrica.....	33
Figura 26 - Ciclo de Rankine .....	34
Figura 27 - Ciclo de Brayton .....	35

Figura 28 - Ciclo Combinado.....	36
Figura 29 - Componentes da caldeira aquatubular.....	37
Figura 30 - Turbina de ação .....	39
Figura 31 - Turbina de reação .....	40
Figura 32 - Principais componentes da turbina a gás.....	41
Figura 33 - Gaseificador.....	42
Figura 34 - Sistema híbrido .....	44
Figura 35 – Esquemático simplificado de um sistema híbrido PCH-Biomassa .....	45
Figura 36 - Diagrama de fluxo de caixa .....	48
Figura 37 - Cronograma do empreendimento.....	58
Figura 38 - Fluxo de caixa considerando o VR do estudo de viabilidade preliminar da PCH...	61
Figura 39 - Fluxo de caixa considerando o VR do estudo de viabilidade preliminar da Térmica a Biomassa.....	61
Figura 40 - Fluxo de caixa considerando o VR do estudo de viabilidade preliminar do Sistema Híbrido.....	62

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1 - Mudanças no Setor Elétrico.....	8
Tabela 2 - Empreendimentos em operação.....	10
Tabela 3 - Consumo de energia elétrica na rede 2008-2010, por classe (GWh).....	11
Tabela 4 - Previsão no consumo de energia elétrica na rede 2011-2020(GWh).....	11
Tabela 5 - Classificação das PCHs quanto à potência e quanto à queda de projeto .....	15
Tabela 6 - Potencial de PCH no Brasil .....	46
Tabela 7 - Potencial da Biomassa no Brasil .....	46
Tabela 8 - Custo dos equipamentos da PCH.....	55
Tabela 9 - Custo dos equipamentos da central térmica a biomassa .....	56
Tabela 10 - Custo total do empreendimento.....	56
Tabela 11 - Comparativo dos fluxos de caixa (R\$) dos empreendimentos. ....	59
Tabela 12 - Comparativo dos VPL (R\$) dos empreendimentos.....	60
Tabela 13 - Estudo de viabilidade técnica e econômica preliminar.....	60

## **Lista de Siglas, Símbolos e Abreviaturas**

- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
- CCC - Conta Consumo de Combustíveis Fósseis
- CCPE - Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão
- CESP - Companhia Energética de São Paulo
- CGH - Central Geradora Hidrelétrica
- CGU - Central Geradora Undi-Elétrica
- CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco
- CMSE - Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
- CNPE - Conselho Nacional de Política Energética
- DNAEE - Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
- ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
- ELETRONORTE - Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A
- ELETROSUL - Empresa Transmissora de Energia Elétrica do Sul do Brasil
- EOL - Central Geradora Eolielétrica
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética
- FURNAS - Furnas Centrais Elétricas S.A.
- GCPS - Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos
- IR - Imposto de Renda
- LIGHT - Serviços de Eletricidade S.A.
- MAE - Mercado Atacadista de Energia
- MCSD - Compensação de Sobras e Déficits
- MME - Ministério de Minas e Energia
- ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico
- PCH - Pequena Central Hidrelétrica
- PCH - Pequena Central Hidroelétrica
- PIR - O Planejamento de Recursos Integrados

**x**

PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

SOL - Central Geradora Solar Fotovoltaica

TIR - Taxa Interna de Retorno

TMA - Taxa Mínima de Atratividade

UHE - Usina Hidrelétrica de Energia

UTE - Usina Termelétrica de Energia

UTN - Usina Termonuclear

VPL - Valor Presente Líquido

VR - Valor Residual

## Resumo

POLIZELI, M. V. (2011). *Avaliação Econômica de Geração de Energia Elétrica entre Sistemas Híbridos de PCHs e Termoelétricas*. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 86p.

O aumento da demanda de energia elétrica está associado a fatores econômicos tais como crescimento industrial, aumento nas exportações, construção civil, entre outros. Com base nestes fatos, propõem-se um estudo de geração híbrida, já que esse garante incentivos regulatórios, e energia em curto prazo de tempo a um custo relativamente baixo. Para complementar a parte teórica, este trabalho apresenta um estudo de caso, tendo em vista os parâmetros de viabilidade econômica entre uma PCH e uma termoelétrica, pois em frequentes análises de dados, percebem-se situações de inviabilidade econômica em função de altos custos para implantação, não assegurando ao investidor a recuperação desses recursos. Deste modo, o presente trabalho propõe uma metodologia de estudo comparativa entre pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) e termoelétricas no âmbito da geração de energia, de forma a avaliar a viabilidade técnico-econômica, a análise regulatória e a comercialização de energia.

**Palavras-chaves:** Pequena Central Hidroelétrica (PCH), Termoelétricas, Sistema Híbrido, Geração de Energia, Avaliação Econômica.

## Abstract

POLIZELI, M. V. (2011). Economic evaluation of electricity generation between hybrid systems of SHP and thermal power plants. Course Conclusion Work – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 86p.

The increase in electricity demand is related to economic factors, like industrial growth, increased exports, civil construction, among others. Based on these facts, a study of hybrid generation is proposed, since it ensures regulatory incentives and energy in a short period of time at a relatively low cost. To complement the theoretical part, this study presents a case study, in view of the parameters of economic viability between a SHP and a thermal power plant because, in frequent data analysis, situations of economic impracticability can be seen due to high costs for deployment, not ensuring that investors will recover these resources. Therefore, this study proposes a methodology for comparative study between Small Hydro Power (SHP) and thermal power plants in the scope of energy generation, in order to evaluate the technical and economic viability, regulatory analysis and energy commercialization..

**Keywords:** Small Hydro Power (SHP), Thermal Power Plants, Hybrid System, Energy Generation, Economic Evaluation.

## Capítulo 1

# Introdução

A energia, nas suas mais diversas formas, é indispensável à sobrevivência da espécie humana e ao atendimento às suas necessidades. Em termos de suprimento energético, a eletricidade se tornou uma das fontes mais versáteis e convenientes de energia, passando a ser recurso indispensável e estratégico para o desenvolvimento dos países [1]. Dessa forma, a energia está presente em toda a cadeia de produção, distribuição e uso final de bens e serviços.

O contínuo crescimento da população mundial e da economia dos países desenvolvidos e em desenvolvimento implica, necessariamente, no aumento do consumo de energia. Assim, esse consumo de eletricidade impulsiona o desenvolvimento de diferentes formas de aproveitamento energético.

Nesse contexto, os sistemas híbridos surgem como alternativa de geração isolada ou interligada de energia, tendo em vista fornecer eletricidade a uma determinada carga ou conjunto de cargas garantindo maior confiabilidade devido à eventual complementaridade entre as fontes.

A utilização de várias formas de geração de energia elétrica visa o aproveitamento de recursos energéticos disponíveis localmente, maximizando a disponibilidade de eletricidade através da complementaridade dos recursos. Sistemas híbridos são utilizados, na sua maioria, visando atender um conjunto de unidades consumidoras [2].

Sendo assim, este trabalho apresenta um estudo de avaliação econômica entre um sistema híbrido de PCHs e Termoelétricas. O trabalho aborda o funcionamento de cada fonte e sua eventual interação, caracterizando a confiabilidade, flexibilidade de operação, disponibilidade, dentre outros. Por fim, será apresentado um estudo de caso, com finalidade didática, visando exemplificar parte das informações e conceitos apresentados no decorrer do trabalho.

### 1.1) Organização do Trabalho

Este trabalho está organizado da seguinte maneira:

- **Capítulo 2:** apresenta a evolução da energia elétrica no Brasil. Neste capítulo é realizado um breve resumo histórico do sistema elétrico brasileiro. Além disso, será abordada a matriz energética do Brasil e do Mundo. Por fim, é mostrada a previsão de expansão do sistema energético nacional para aproximar o leitor ao mercado de energia.
- **Capítulo 3:** neste capítulo, serão estudadas as pequenas centrais hidroelétricas, com descrição de cada elemento que pertencente a esse sistema. Ademais, são apresentadas algumas legislações e resoluções normativas para seu funcionamento e classificação.
- **Capítulo 4:** expõe, de forma sucinta, o funcionamento de uma unidade termoelétrica. O principal objetivo deste capítulo é dar embasamento teórico a esse tipo de geração de energia, a qual será composta no sistema híbrido apresentado.
- **Capítulo 5:** neste capítulo, é apresentado o sistemas híbridos de PCHs e Termoelétricas, com a descrição de cada elemento pertencente ao sistema. Também será apresentada a avaliação econômica desse sistema e suas vantagens e desvantagens para esse tipo de geração de energia elétrica.
- **Capítulo 6:** apresenta as discussões sobre os resultados obtidos neste trabalho. Em primeiro lugar é apresentado um estudo de caso teórico de um sistema híbrido PCH-Termoelétrica. Por fim, é feito a avaliação econômica desse sistema apresentando possíveis soluções, assegurando ao investidor a recuperação desses recursos.
- **Capítulo 7:** expõe uma síntese dos assuntos que foram abordados no trabalho, as principais conclusões obtidas e as sugestões de trabalhos futuros para a continuidade desta linha de pesquisa.

## 1.2) Objetivos

Este trabalho objetiva contribuir com o conhecimento sobre os sistemas híbridos no âmbito de geração de energia elétrica, baseando-se nas fontes hidráulica e de biomassa.

Esse sistema é composto por uma pequena central hidroelétrica e uma termoelétrica a biomassa, ou seja, duas fontes renováveis de energia elétrica. O propósito deste estudo é avaliar economicamente essas fontes e sua complementaridade, uma vez que, operam de formas diferentes. Tendo como meta expor o tempo de retorno do investimento aplicado, na perspectiva de um sistema isolado.

Os objetivos específicos deste trabalho foram: a definição de cada fonte que compõem o sistema híbrido; caracterizar os parâmetros da avaliação econômica; a elaboração de um *software* que calcula o retorno financeiro do investimento; avaliação econômica de um estudo de caso do sistema estudado.

## Capítulo 2

# Evolução da Energia Elétrica no Brasil

A eletricidade chegou no Brasil no final do século XIX, através da concessão de privilégio para a exploração da iluminação pública, dada pelo Imperador D. Pedro II a Thomas Edison. Em 1930, a potência instalada no Brasil atingia cerca de 350 MW, em usinas hoje consideradas como de pequena potência, pertencentes às indústrias e às prefeituras municipais. Estas usinas, na maioria hidroelétrica, operavam a “fio d’água” ou com pequenos reservatórios de regularização diária.

Em 1939, no governo Vargas, foi criado o Conselho Nacional de Águas e Energia, órgão de regulamentação e fiscalização, mais tarde substituído pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica – DNAEE, subordinado ao Ministério de Minas e Energia (MME) [3], sendo esse responsável na regulação e fiscalização das concessionárias de energia.

Em 1962, criou-se a Eletrobrás, responsável pela coordenação do planejamento da expansão e da operação do sistema, atuando também como agente financiador do setor, e operando em todo o país por meio das seguintes empresas regionais: ELETRONORTE, FURNAS, CHESF e ELETROSUL, além de possuir participação acionária em todas as distribuidoras.

A Eletrobrás exercia as atividades de planejamento da expansão e operação do sistema elétrico brasileiro por meio da coordenação de Órgãos Colegiados, integrados por todas as concessionárias de geração, transmissão e distribuição [4].

Segundo [4], a estrutura organizacional do setor elétrico nessa época eram empresas verticalizadas, ou seja, exerciam as atividades de geração e transmissão (como FURNAS), geração e distribuição (LIGHT) ou abrangendo todo o sistema: geração, transmissão e distribuição (CESP). Essa estrutura é mostrada na Figura 1.

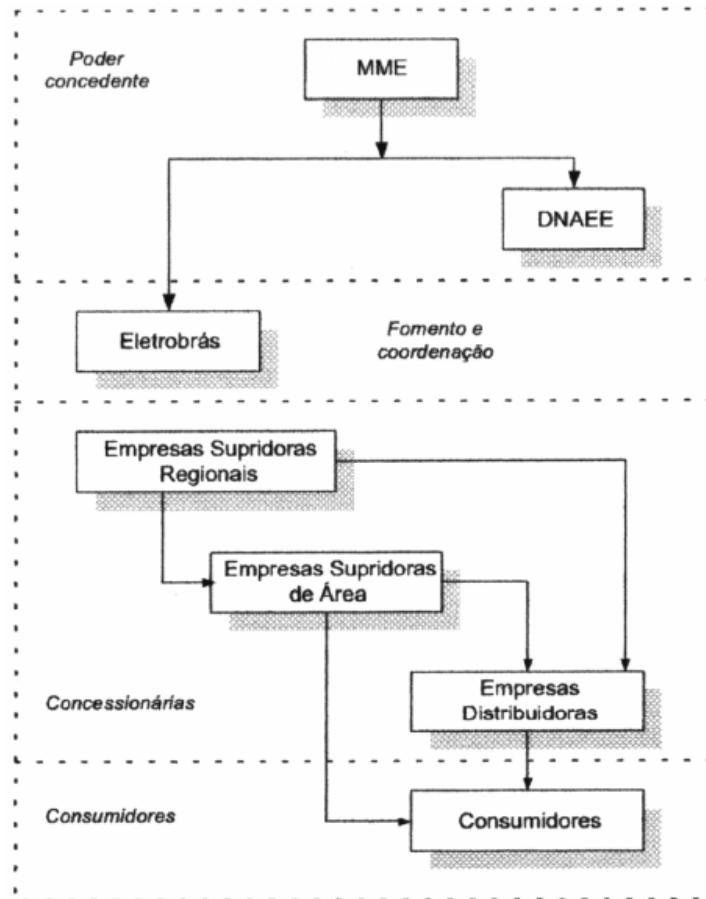


Figura 1 - Estrutura organizacional do setor elétrico antes da reestruturação (Fonte: [4])

As Empresas Supridoras Regionais, pertencentes ao governo federal, eram responsáveis pelas grandes usinas e pela rede de transmissão (FURNAS).

As Empresas Supridoras de Áreas, pertencentes aos governos estaduais, respondiam por suas usinas e sistemas de transmissão dentro dos seus respectivos estados, além de exercerem a atividade de distribuição de energia elétrica (CESP) [4].

A partir da década de 90 houve a reestruturação organizacional do setor elétrico, pois este apresentava dificuldades na capacitação de recursos e de ampliação. E assim o modelo institucional do setor passou por duas grandes mudanças.

A primeira ocorreu em 1996, a qual envolveu a privatização das companhias operadoras e teve início com a Lei nº 9.427 [5][6]. De acordo com [4], o Ministério de Minas e Energia e a Eletrobrás elaboraram medidas para um novo modelo do setor elétrico, o qual foi reestruturado da seguinte forma, como demonstra a Figura 2.

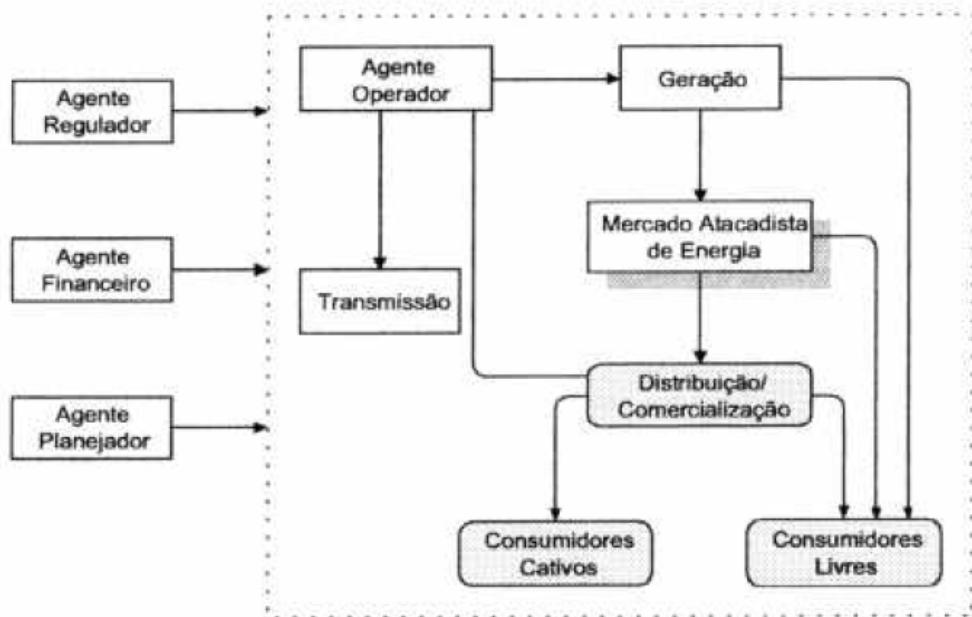


Figura 2 - Estrutura organizacional do setor elétrico depois da reestruturação (Fonte: [4])

Nessa reestruturação foi criada a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a qual veio exercer a função de órgão regulador em nível federal, substituindo o DNAEE. De acordo com [48][4], a ANEEL tem por finalidade regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, de acordo com a legislação e em conformidade com as diretrizes e as políticas do governo federal.

Nesse âmbito, foram criados o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), que é presidido pelo Ministro de Minas e Energia, e cuja atribuição consiste em propor ao Presidente da República políticas e diretrizes para a área energética do país, o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), com o objetivo de coordenar a operação das usinas e da rede de transmissão do sistema interligado nacional, o Mercado Atacadista de Energia (MAE), ambiente criado para a realização das transações de compra e venda de energia elétrica [48], e o Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão (CCPE) responsável pelo planejamento e expansão do sistema.

A segunda mudança no sistema elétrico nacional ocorreu em 2004, com a implantação do Novo Modelo do Setor Elétrico, por meio do Ministério de Minas e Energia e com assessoramento do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) e do Congresso Nacional. Conforme [5], houve criação da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao MME e cuja função é realizar os estudos necessários ao planejamento da expansão do sistema elétrico, a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), que é responsável pela negociação da energia no mercado livre e também instituiu o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE), também

ligado ao MME. Esse novo modelo preservou a ANEEL e o ONS, e a sua estrutura institucional conforme apresentado na Figura 3.

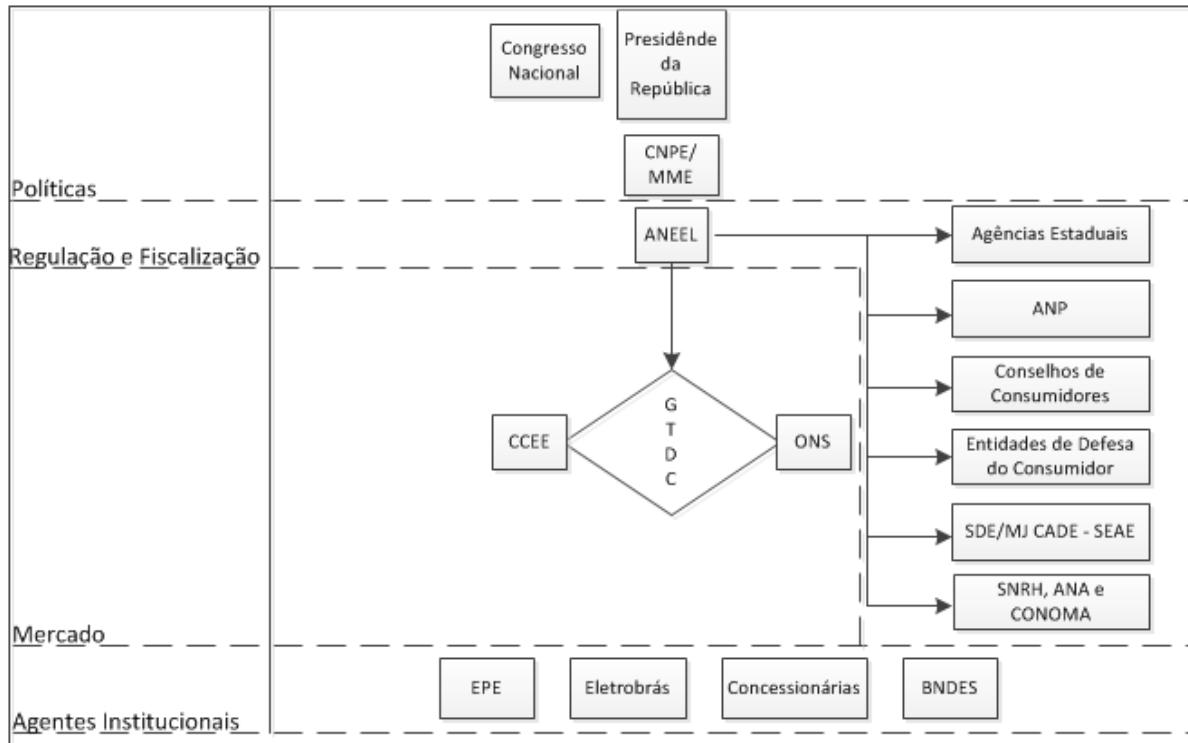


Figura 3 - Estrutura institucional do setor elétrico (Fonte: [5])

Desse modo, conforme observado, o Setor Elétrico Brasileiro sofreu diversas alterações até chegar ao modelo vigente. A Tabela 1 apresenta um resumo das principais mudanças entre os modelos pré-existentes e o modelo atual.

Tabela 1 - Mudanças no Setor Elétrico (Fonte: [7])

Modelo Antigo (antes da reestruturação)	Modelo de Livre Mercado (1º fase da reestruturação)	Novo Modelo (2º fase da reestruturação)
Financiamento através de recursos públicos	Financiamento através de recursos públicos e privados	Financiamento através de recursos públicos e privados
Empresas verticalizadas	Empresas divididas por atividade: geração, transmissão, distribuição e comercialização	Empresas divididas por atividade: geração, transmissão, distribuição, comercialização, importação e exportação.
Empresas predominantemente Estatais	Abertura e ênfase na privatização das Empresas	Convivência entre Empresas Estatais e Privadas
Monopólios - Competição inexistente	Competição na geração e comercialização	Competição na geração e comercialização
Consumidores Cativos	Consumidores Livres e Cativos	Consumidores Livres e Cativos
Tarifas reguladas em todos os segmentos	Preços livremente negociados na geração e comercialização	No ambiente livre: Preços livremente negociados na geração e comercialização. No ambiente regulado: leilão e licitação pela menor tarifa
Mercado Regulado	Mercado Livre	Convivência entre Mercados Livre e Regulado
Planejamento Determinativo - Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos (GCPS)	Planejamento Indicativo pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE)	Planejamento pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE)
Contratação: 100% do Mercado	Contratação : 85% do mercado (até agosto/2003) e 95% mercado (até dez./2004)	Contratação: 100% do mercado + reserva
Sobras/déficits do balanço energético rateados entre compradores	Sobras/déficits do balanço energético liquidados no MAE	Sobras/déficits do balanço energético liquidados na CCEE. Mecanismo de Compensação de Sobras e Déficits (MCSD) para as Distribuidoras.

## 2.1) Matriz energética

A Matriz energética mundial apresenta que cerca de 87% de toda a energia é gerada por combustíveis fósseis, dos quais 33,1% provém do petróleo, 27% advém do carvão mineral, 21,1% do gás natural e 5,8% do urânio. O restante 12,9% provém de fontes renováveis, como hidro e biomassa (inclui eólica, solar e geotérmica). A Figura 4 mostra o cenário mundial de oferta e energia em 2008.

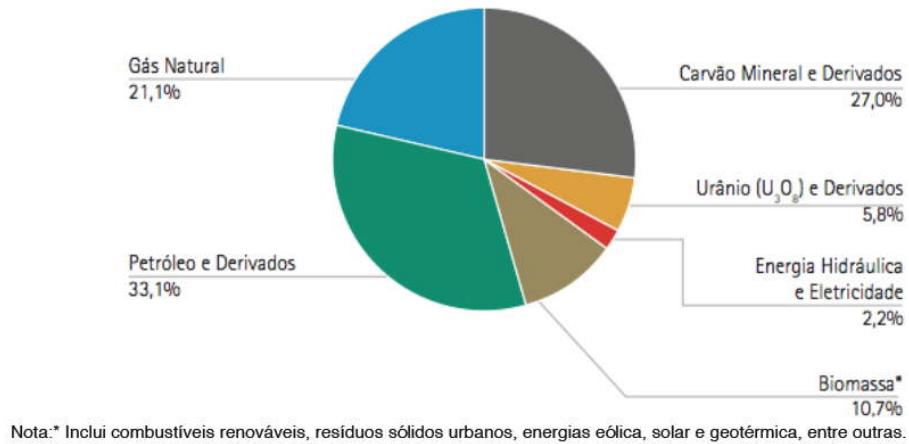


Figura 4 - Cenário mundial de oferta e energia em 2008 (Fonte: [9])

No Brasil apresenta outro o cenário, conforme [10] o consumo final energético por fonte é mostrado na Figura 5 onde se observa que a eletricidade representa 17,3% do consumo final ficando atrás apenas do óleo diesel 18%, sendo, portanto a segunda forma de energia mais consumida no país.

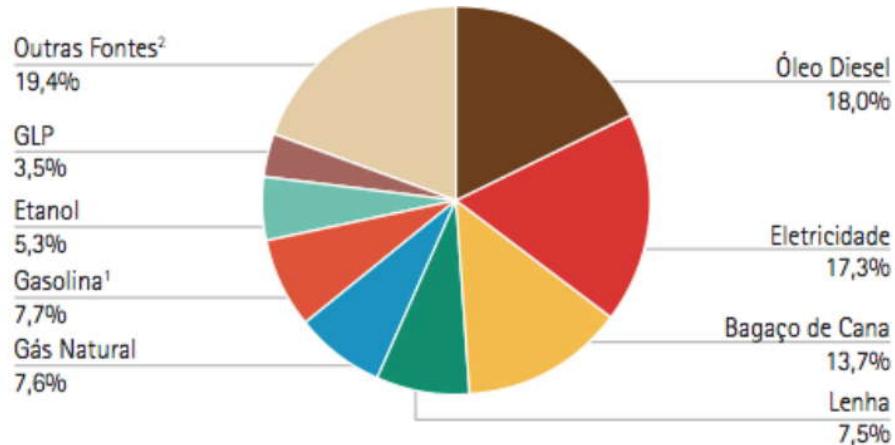


Figura 5 - Consumo final energético por fonte no Brasil (Fonte: [10])

A fonte hidráulica é a que mais contribui para produção de energia elétrica no Brasil, com participação de 74,9%, como demonstra na Figura 6.

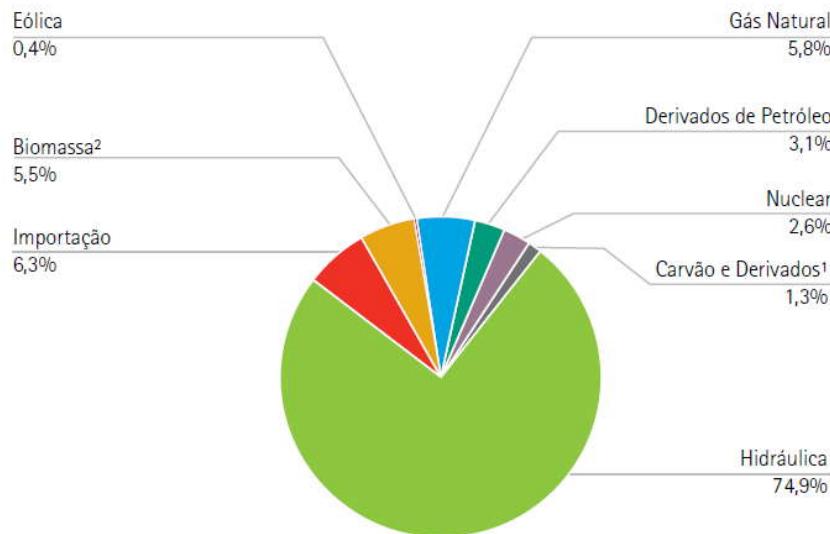


Figura 6 - Estrutura da oferta de energia elétrica no Brasil (Fonte: [10])

A partir da análise dos dados de geração de energia elétrica no Banco de Informação de Geração (BIG) da ANEEL apresentado na Tabela 2, nota-se o grande potencial hidroelétrico do país.

A UTE e PCH são as maiores unidades de empreendimentos, isso se deve ao retorno rápido ao investimento aplicado nessas unidades geradoras e a vantagem da sua implantação em localidades isoladas.

Tabela 2 - Empreendimentos em operação (Fonte: [50])

Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	%
CGH	356	205.650	202.829	0,18
EOL	59	1.179.138	1.141.542	0,99
PCH	408	3.766.716	3.701.750	3,20
SOL	6	5.087	1.087	0,00
UHE	180	78.718.073	77.807.529	67,36
UTE	1.476	32.278.577	30.648.040	26,53
UTN	2	2.007.000	2.007.000	1,74
<b>Total</b>	<b>2.487</b>	<b>118.160.241</b>	<b>115.509.777</b>	<b>100</b>

Fonte: (ANEEL, 2011)

## 2.2) Consumo

O consumo de energia elétrica está diretamente relacionado com o desenvolvimento econômico e o crescimento populacional do país. Segundo [5], o consumo reflete o ritmo de atividade dos setores industrial, comercial e de serviços. Na Tabela 3 é mostrado o consumo no Brasil durante o período de 2008 a 2010.

**Tabela 3 - Consumo de energia elétrica na rede 2008-2010, por classe (GWh) (Fonte: [12])**

Classe	2008	2009	2010	Variação (%)	
				2008-2009	2009-2010
Residencial	94.746	100.776	107.160	6,4	6,3
Industrial	180.049	166.181	183.743	-7,7	10,6
Comercial	61.813	65.255	69.086	5,6	5,9
Outras	56.079	56.477	59.027	0,7	4,5
<b>Total</b>	<b>392.688</b>	<b>388.688</b>	<b>419.016</b>	<b>-1,0</b>	<b>7,8</b>

Observa-se que nesse período o consumo de energia elétrica apresentou uma variação negativa, em consequência da crise financeira internacional, pois a indústria sofreu uma queda no consumo de 7,7%. Porém, nota-se que o consumo residencial aumentou em todos os períodos, já que economia interna apresentou-se estável.

A projeção do consumo de energia elétrica na rede, para o período 2011-2020, é representado na Tabela 4 [12].

**Tabela 4 - Previsão no consumo de energia elétrica na rede 2011-2020(GWh) (Fonte: [12])**

Ano	Consumo*	PIB	Intensidade
	(TWh)	(10 <sup>9</sup> R\$ 2008)	(kWh/R\$ 2008)
2010	456,5	3.200	0,143
2015	581,2	4.084	0,142
2020	730,1	5.212	0,140

(\*) Inclui autoprodução

A previsão para o período de 2010 a 2020 é de um aumento considerável no consumo, devido à análise positiva do mercado e da conjuntura econômica, como mostrado na Figura 7.

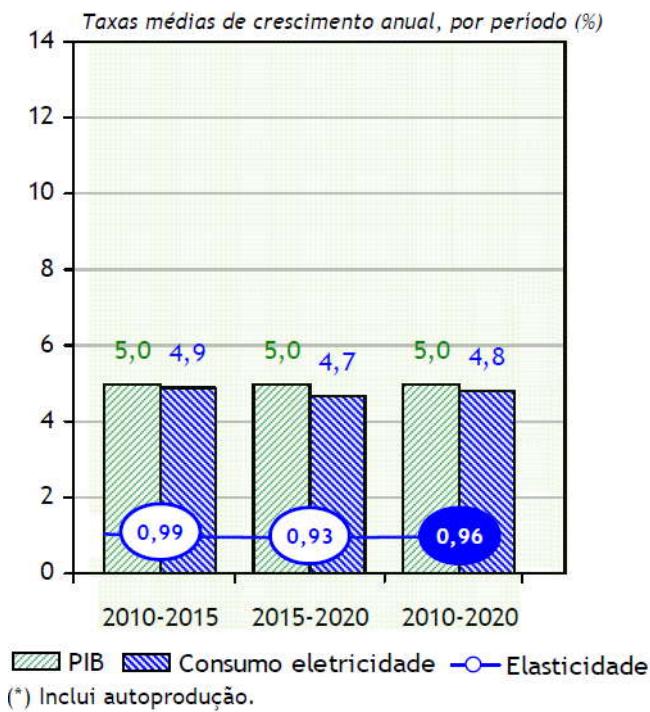


Figura 7 - Taxas médias de crescimento anual, por período (%) (Fonte: [12])

Conforme observando na Figura 7, o aumento do PIB é condizente com o consumo de eletricidade. Dessa forma para suprir esse crescimento é necessário um planejamento energético em médio prazo.

### 2.3) Expansão do Sistema Nacional

Como observado no item anterior é necessário o aumento da capacidade instalada. De acordo com [12], o sistema deverá evoluir cerca de 110.000 MW em dezembro de 2010 para 171.000 MW em dezembro de 2020, com a priorização das fontes renováveis (hidráulica, eólica e biomassa). Se por um lado a participação das hidrelétricas cairá de 76% para 67%, a geração oriunda de fontes alternativas, como a de usinas eólicas, de térmicas à biomassa e de PCHs, vai dobrar em dez anos, de 8% para 16%. A geração eólica será destaque, aumentando de 1% para 7%. Com isso, a fatia de fontes renováveis se manterá em torno de 83% ao final do decênio. Esta expansão demandará investimentos da ordem de R\$ 190 bilhões. Cabe ressaltar que grande parte destes investimentos refere-se a empreendimentos já autorizados, incluindo as usinas com contratos assinados nos leilões de energia nova. O montante a investir em novas usinas – ainda

não contratadas ou autorizadas – é da ordem de R\$ 100 bilhões, sendo 55% em hidrelétricas e 45% no conjunto de outras fontes renováveis.

A Figura 8 mostra os empreendimentos em construção e outorgados referentes às pequenas centrais hidroelétricas (PCH) e das usinas termoelétricas de energia (UTE). Com base nessas informações, observa-se o crescimento dessas fontes de energia, proporcionando um aumento da confiança do investidor nesse tipo de empreendimento.

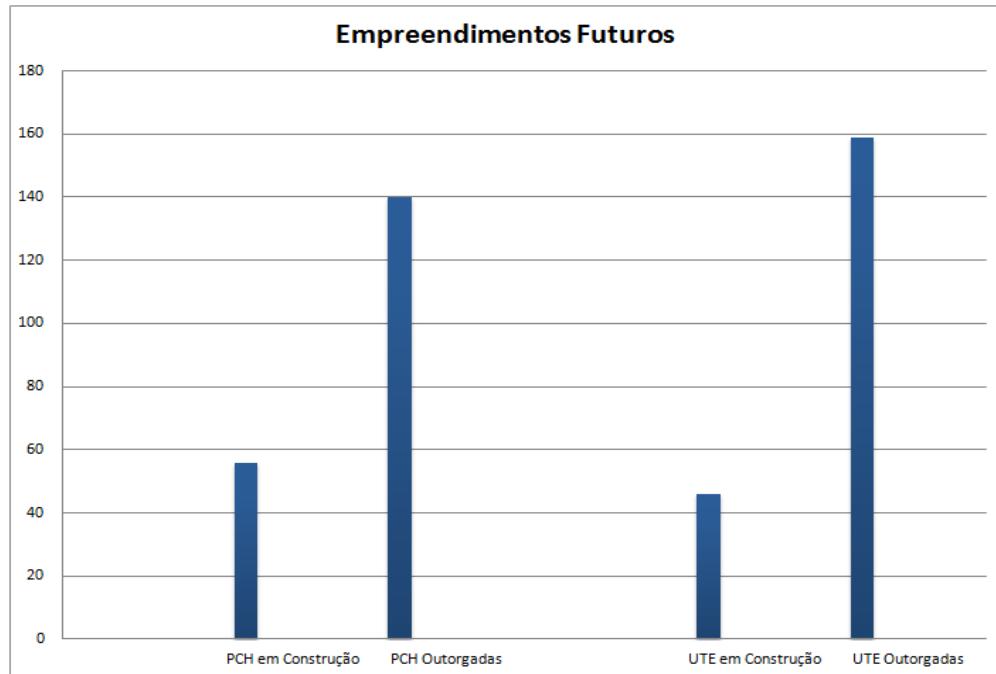


Figura 8 - Empreendimentos futuros (Fonte: [11])

## Capítulo 3

# Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs)

As PCHs são empreendimentos de exploração de recursos hídricos para geração de energia elétrica, no qual se instalam turbinas hidráulicas, acopladas aos geradores de eletricidade, que são impulsionadas pelo fluxo d'água resultante de um desnível provocado por uma barragem num curso d'água [1].

Portanto, nesse capítulo serão apresentados conceitos e informações referente ás PCHs, abrangendo de forma mais conceituada este tipo de central de geração de energia elétrica.

### 3.1) Caracterização

Pequena Central Hidrelétrica é uma usina com potência instalada superior a 1MW e inferior a 30MW, com área de reservatório inferior a 3 km<sup>2</sup> e destinada a autoprodução e produção independente, segundo estabelecido na Resolução ANEEL nº. 395, de 4 de dezembro de 1998 [13], com a nova redação dada pela Resolução ANEEL nº. 652, de 9 de dezembro de 2003 [14].

Através de diversos estudos em relação ao tamanho máximo de 3,0 km<sup>2</sup> para área alagada pelo reservatório, em 2003 a ANEEL editou a Resolução nº. 652 que altera a área do reservatório. Assim, de acordo com [16], se caso o limite de 3,0 km<sup>2</sup> seja excedido, o aproveitamento ainda será considerado com características de PCH se forem atendidas pelo menos duas condições:

1. Fórmula: Inequação para área do reservatório, dado pela eq.(1).

$$A \leq \frac{14,3 \times P}{H_b} \quad \text{eq.(1)}$$

Em que:

A: Área do reservatório em [km<sup>2</sup>],

P: Potência elétrica instalada em [MW],

H<sub>b</sub>: Queda bruta do aproveitamento em [m].

Nessa expressão a área não poderá exceder 13,0 km<sup>2</sup>, área máxima da maior parte dos reservatórios das PCHs, sendo agora definida pelo nível d'água máximo normal à montante do barramento. A queda bruta é dada pela diferença entre os níveis d'água máximo normal de montante e normal de jusante.

2. Reservatório: cujo dimensionamento, comprovadamente, foi baseado em outros objetivos que não o de geração de energia elétrica deverá ter essa condição comprovada junto a Agência Nacional de Águas – ANA, aos Comitês de Bacias Hidrográficas, aos órgãos de gestão de recursos hídricos e ambientais junto aos Estados; de acordo com suas respectivas competências [16].

### 3.2) Classificação

As PCHs podem ser classificadas quanto à potência instalada e quanto à queda de projeto, como mostrado na Tabela 5.

**Tabela 5 - Classificação das PCHs quanto à potência e quanto à queda de projeto (Fonte: [20])**

Classificação das Centrais	Potência (kW)	Queda de projeto - Hd (m)		
		Baixa	Média	Alta
Micro	P < 100	Hd < 15	15 < Hd < 50	Hd > 50
Mini	100 < P < 1.000	Hd < 20	20 < Hd < 100	Hd > 100
Pequenas	1.000 < P < 30.000	Hd < 25	25 < Hd < 130	Hd > 130

De acordo com [1], há dois tipos principais de PCHs:

1. PCH de acumulação, empregadas para regularizar vazões hídricas necessárias para produção de energia elétrica [13]. Este tipo de PCH é construído quando a vazão do curso d'água não é suficiente para suprir a descarga necessária do sistema gerador. Neste caso, a barragem acumula a água nas horas de baixo consumo elétrico, para utilizar nos períodos de alta demanda.

2. PCH a fio d'água, cuja vazão não é regularizada por meio de acumulação. Este arranjo proporciona algumas facilidades de projeto e implementação, como [13]:

- Estudos de regularização de vazões simplificados;
- Barragem com obra civil reduzida;
- Simplificação dos estudos e da concepção da tomada d'água;

Desse modo, este tipo de PCH é adotado quando a vazão mínima do rio for maior do que a descarga necessária para atender à demanda de geração elétrica [17]. As PCHs a fio d' água apresentam menores impactos ambientais.

### 3.3) Benefícios concedidos por leis

As PCHs apresentam benefícios e vantagens concedidos por lei, que visam melhorar a atratividade econômica para este tipo de empreendimento. A seguir serão apresentadas algumas leis que iram embasar a análise esse trabalho.

A Lei nº 9.427[6], de 26 de dezembro de 1996, ANEEL institui as seguintes medidas:

- Estão isentas do pagamento da compensação financeira pela utilização hídrica, imposta as hidrelétricas de grande porte;
- Obtém descontos sempre superiores a 50% na taxa de utilização das linhas de transmissão;
- Podem comercializar energia que produzem diretamente como consumidores livres;

Pelo decreto nº 2003 [23], de 10 de setembro de 1996, tem como principal medida sobre as PCHs:

- Regulamenta a produção de energia elétrica por Autoprodutor<sup>1</sup> e Produtor Independente<sup>2</sup>. Através dessa media é possível o estudo do sistema híbrido proposto neste trabalho, que será detalhado nos próximos capítulos.
- Não tem nenhum ônus com o processo de autorização para explorar o potencial hidráulico.

---

<sup>1</sup> O Autoprodutor é a pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão e autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu próprio uso.

<sup>2</sup> O Produtor independente é a pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio, que recebam concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida por sua conta e risco.

A lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998 e resolução nº 245 [24], de 19 de dezembro de 2006 apresenta que:

- As PCHs gozam do benefício do rateio da Conta de Consumo de Combustível (CCC) aos projetos a serem estabelecidos em sistemas elétricos isolados em substituição à geração termoelétrica que envolve derivados de petróleo.

A criação do PROINFA pela Lei nº 10.438 [26] de 26 de abril de 2002, tem como objetivo:

- Diversificação da matriz energética brasileira e a busca por soluções de cunho regional com a utilização de fontes renováveis de energia, visando assim aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos de Produtores Independentes e Autônomos.

As leis nº 9.427 [6], de 26 de dezembro de 1996, e leis nº 9.648 [22], de 27 de maio de 1998, e a Resolução ANEEL 22 [25] apresentam que:

- As PCHs podem comercializar a energia gerada com as concessionárias de serviço estabelecendo como teto tarifário, o valor normativo estabelecido para essa classe de empreendimento.

### 3.4) O Potencial hidroelétrico

As centrais hidroelétricas transformam a energia potencial da água em energia elétrica por meio de turbinas acopladas a geradores.

A energia pode ser obtida através da queda d'água dependendo da diferença de altura do nível montante e jusante e do fluxo de água.

Segundo [15], para verificação do potencial local é feito um cálculo estimado da energia firme ( $EF_e$ ) e da potência a ser instalada no aproveitamento ( $P$ ), por meio das equações 2, 3 e 4.

$$EF_e = \frac{\mu \cdot 9,81 \cdot Q \cdot H_{liq}}{1000} \cdot \Delta t \quad \text{eq.(2)}$$

$$EF_e = 0,0083 \cdot Q \cdot H_{liq} \quad \text{eq.(3)}$$

Em que:

$EF_e$ : Energia firme estimada em MW médios, considerando-se= Q e  $H_{liq}$  constantes durante o funcionamento da usina. Deve ser compreendido que 1 MW médio = 8760 MWh por ano, durante a vida útil da usina;

$\mu$ : Rendimento do conjunto turbina-gerador, sugerindo-se o valor final de 0,85;

$\Delta t$ : intervalo de tempo igual a 1 s;

Q: vazão mínima medida no local, ou  $Q_{95\%}$ , ou, ainda, a vazão média ( $Q_{med}$ ) ao longo do período crítico do sistema interligado ( $m^3/s$ );

Hl<sub>lq</sub>: queda líquida (m).

A potência instalada ( $P$ ) de referência do aproveitamento hidráulico é obtida pela razão entre a energia firme estimada ( $EF_e$ ) e o fator de capacidade técnica de referência, conforme apresentado na Equação 4:

$$P = \frac{EF_e}{F_k} \quad \text{eq.(4)}$$

Em que:

$P$ : Potência elétrica de referência ou instalada do aproveitamento hidrelétrico (MW).

$F_k$ : Fator de capacidade técnica de referência do aproveitamento. O valor de  $F_k$  utilizado neste trabalho é 55%, conforme recomendações da Eletrobrás [15].

### 3.5) Arranjos de centrais hidroelétricas

O arranjo de uma pequena central hidroelétrica depende da forma do relevo, topografia e geologia do local de construção.

Nas figuras seguintes são apresentados três tipos de arranjos, em todos os casos aparecem a barragem e a estrutura vertedouro.

A combinação da tomada d'água, adução, casa de máquinas e canal de fuga, irá compor o arranjo mais conveniente [20].

De acordo com [18] e [19], os arranjos tem as seguintes denominações:

- Centrais Hidrelétricas de Represamento – CHR (Figura 9);
- Centrais Hidrelétricas de Desvio – CHD (Figura 10);
- Centrais Hidrelétricas de Derivação – CHV (Figura 11);

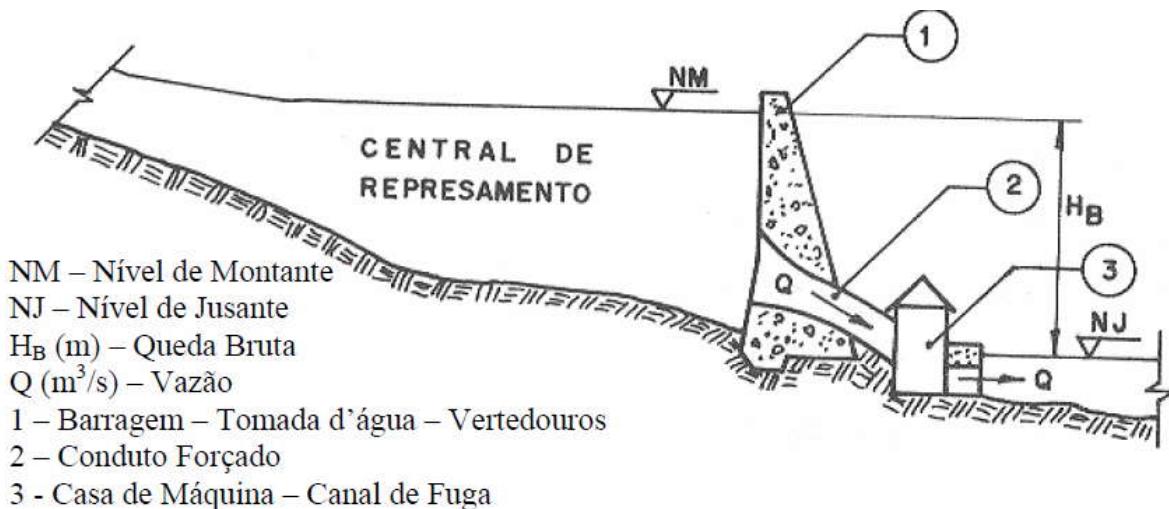


Figura 9 - Central hidrelétrica de Represamento – CHR (Fonte: [19])

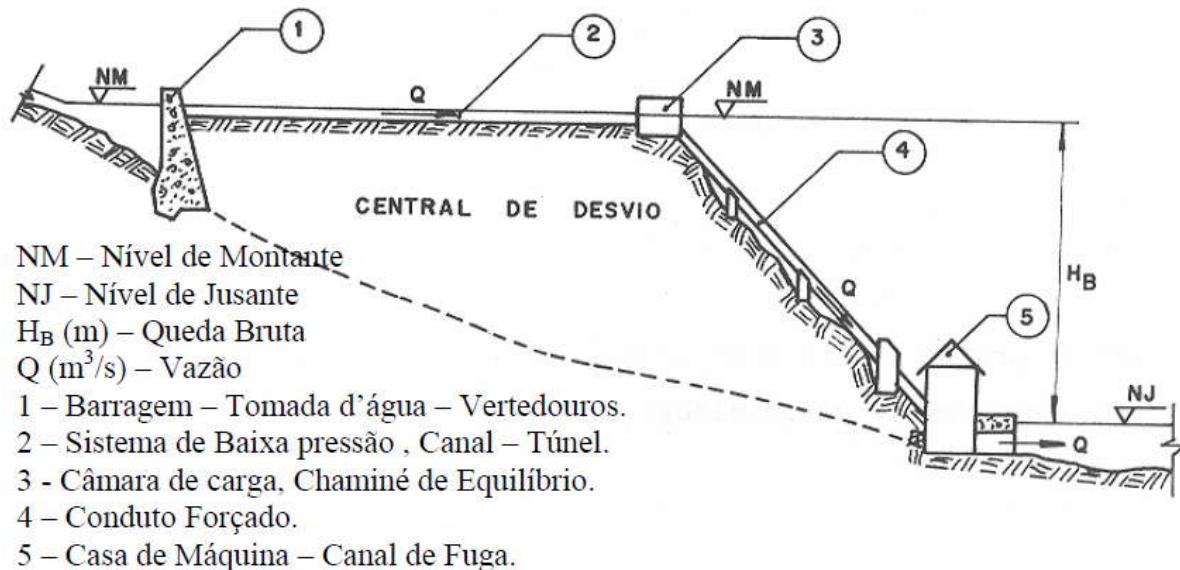


Figura 10 - Central Hidrelétrica de Desvio – CHD (Fonte: [19])

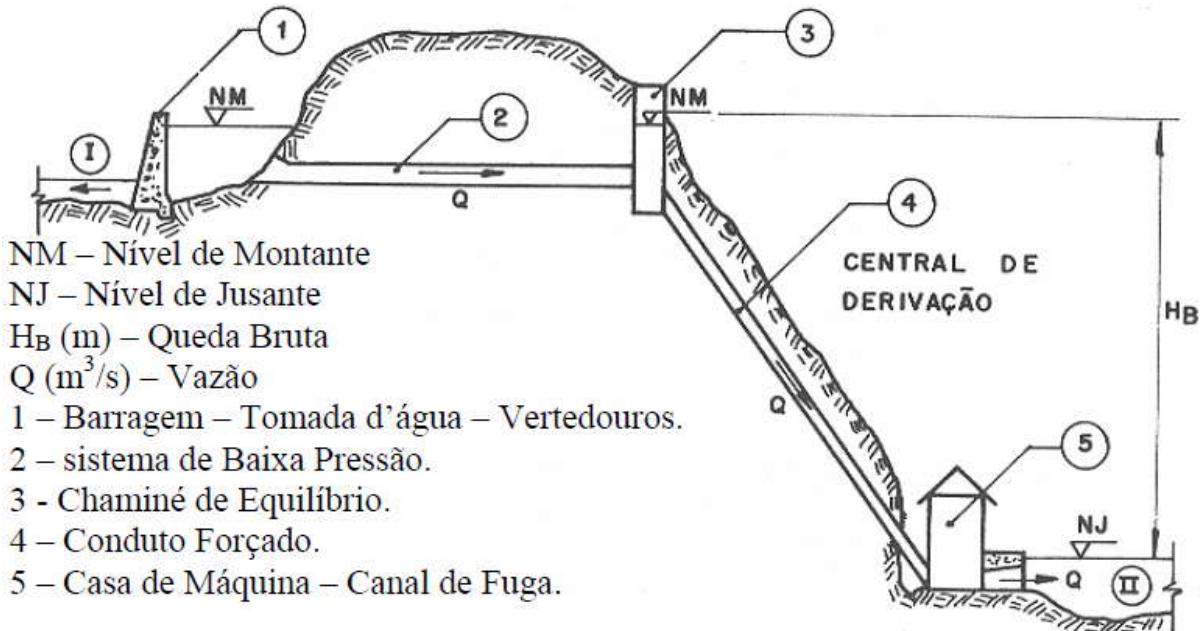


Figura 11 - Central Hidrelétrica de Derivação – CHV (Fonte: [19])

### 3.6) Componentes construtivos

Conforme [21], os principais componentes construtivos das microcentrais hidrelétricas podem ser divididos em dois grupos principais as estruturas civis (para o represamento, captação e adução da água) e os componentes hidromecânicos e eletromecânicos.

Dada a importância de o leitor ter embasamento de como são construídas essas centrais, com esse propósito, será descrito a seguir função dos principais componentes dessas centrais.

#### 3.6.1) Barragem

A Barragem é uma estrutura que tem a função de interrupção do fluxo d'água, cuja finalidade é represar a água para, aumentar o nível d'água e regularizar as vazões. Segundo [15], nos locais de baixa queda, a barragem também tem a função de criar o desnível necessário à produção da energia desejada. De acordo com cada tipo de projeto as barragens podem apresentar três tipos: terra, enrocamento ou concreto.

##### 1. Barragem de Terra

Esse tipo de barragem é apropriado para locais onde a topografia se apresenta suavemente ondulada, nos vales pouco encaixados, e onde existam áreas de empréstimo de materiais argiloso/arenosos suficientes para a construção do maciço compactado [15].

## 2. Barragem de Enrocamento

Esse tipo de barragem é construído com blocos de rocha compactados, sendo uma opção para regiões onde não existe quantidade suficiente de solo argiloso. Segundo [15], este tipo de barragem é apropriado para regiões rochosas, nas quais o capeamento de solo muitas vezes não existe ou é pouco espesso, onde existam condições adequadas de fundações e pedreiras facilmente exploráveis a custo competitivo e/ou excesso de escavações obrigatórias em rocha.

## 3. Barragem de Concreto

A barragem de concreto como a do tipo muro-gravidade, é capaz de resistir, com seu peso próprio, à pressão da água do reservatório e à subpressão das águas que se infiltram pelas fundações [15].

### **3.6.2) Vertedouro**

O vertedouro tem a função de proteger a barragem e as demais instalações nas ocasiões de chuvas intensas e níveis elevados da altura da água, permitindo o escoamento das cheias, assim não ultrapassando as cotas de segurança. São dimensionados com as informações sobre a freqüência e intensidade das maiores cheias registradas. Com um tratamento estatístico é possível prever um valor de cheia máxima [21].

### **3.6.3) Tomada d'água**

A tomada d'água é uma estrutura que tem a função de conduzir a quantidade de água necessária para movimentação da turbina.

A tomada pode ser ligada diretamente à tubulação forçada que leva a água a casa de máquina ou dependendo da topografia do local, pode descarregar a água captada em um canal aberto de adução ou em uma tubulação de baixa pressão que transportará a água até o local mais adequado para a implantação da tubulação forçada [20].

Conforme [21], esta estrutura tem a finalidade de regular a vazão de entrada e retirar os detritos, folhas e galhos carreados pelo curso d'água. Normalmente é projetada com grade que consiste em uma barreira física para os detritos, e comporta desarenadora com a finalidade de decantar os materiais sólidos que são transportados.

### 3.6.4) Sistema de adução

O sistema de adução é constituído por um trecho com pequena declividade (baixa pressão), com um canal aberto ou uma tubulação de baixa pressão e por um trecho com declividade mais acentuada (alta pressão) o conduto forçado esse sempre construído com tubos. Na maior parte dos casos, na transição entre o trecho de alta e o de baixa pressão é colocada uma câmara de carga. Quando o comprimento do conduto forçado é muito elevado é necessário usar as chaminés de equilíbrio [21].

Na Figura 12 está representado um sistema de adução. Conforme [20], o canal de adução em geral deve desenvolver-se acompanhado os contornos de uma determinada curva de nível do terreno. A sua construção depende da geologia do local, o canal pode ser construído em solo natural (ou rocha, se for o caso) ou revestido com enrocamento, pedra argamassada, concreto ou outro material.

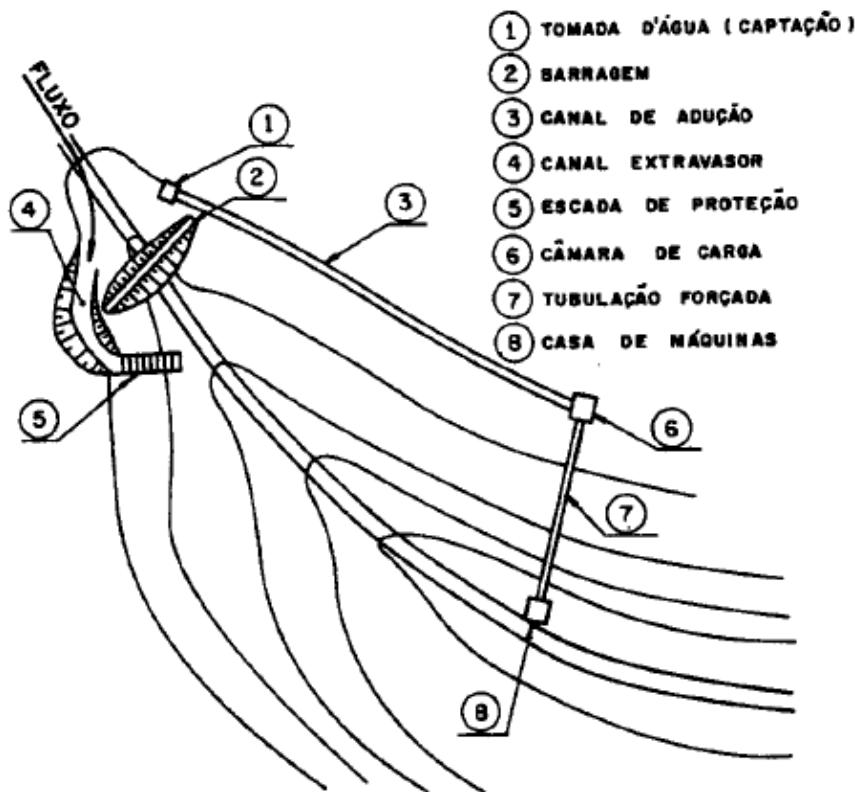


Figura 12 - Canal de adução (Fonte: [20])

### 3.6.5) Tubulação

Existem dois tipos de tubulação para os projetos de centrais hidroelétricas: a tubulação de baixa pressão e a tubulação de alta pressão ou forçada [20].

A tubulação de baixa pressão tem a função de transferir a carga hidráulica existente na tomada da água para a câmara de carga, esse tipo de tubulação é utilizado quando as condições topográficas e/ou geológicas não forem favoráveis à condução da água por um canal a céu aberto.

A tubulação de alta pressão (ou forçada) tem por finalidade conduzir a água entre a câmara de carga e a turbina que se localiza na casa de máquinas.

O diâmetro adequado das tubulações é calculado para que atinja a melhor relação custo-benefício no projeto, o resultado é redução em perdas hidráulicas, e consequentemente maior potência instalada.

### 3.6.6) Câmara de carga

A câmara de carga ou, popularmente, castelo d'água é uma estrutura utilizada quando o sistema de adução é construído por um canal a céu aberto, e tem como função auxiliar a transição da água do canal de adução com a tubulação de alta pressão. Esta estrutura tem como função aliviar o golpe de aríete que se processa no conduto forçado quando ocorre o fechamento brusco do dispositivo de controle de vazões turbinadas.

O golpe de aríete distinguiu-se pela variação de pressão que ocorre nos encanamentos quando as condições de escoamento são alteradas pela variação da descarga, tais operações como abertura e fechamento de válvulas.

Quando a adução em baixa pressão for projetada através de uma tubulação, a câmara de carga será apenas um recipiente de transição a tubulação forçada.

Nas Figuras 13 e 14 são apresentadas as câmaras de carga com adução em baixa pressão feita através um canal a céu aberto e uma tubulação, respectivamente [20].

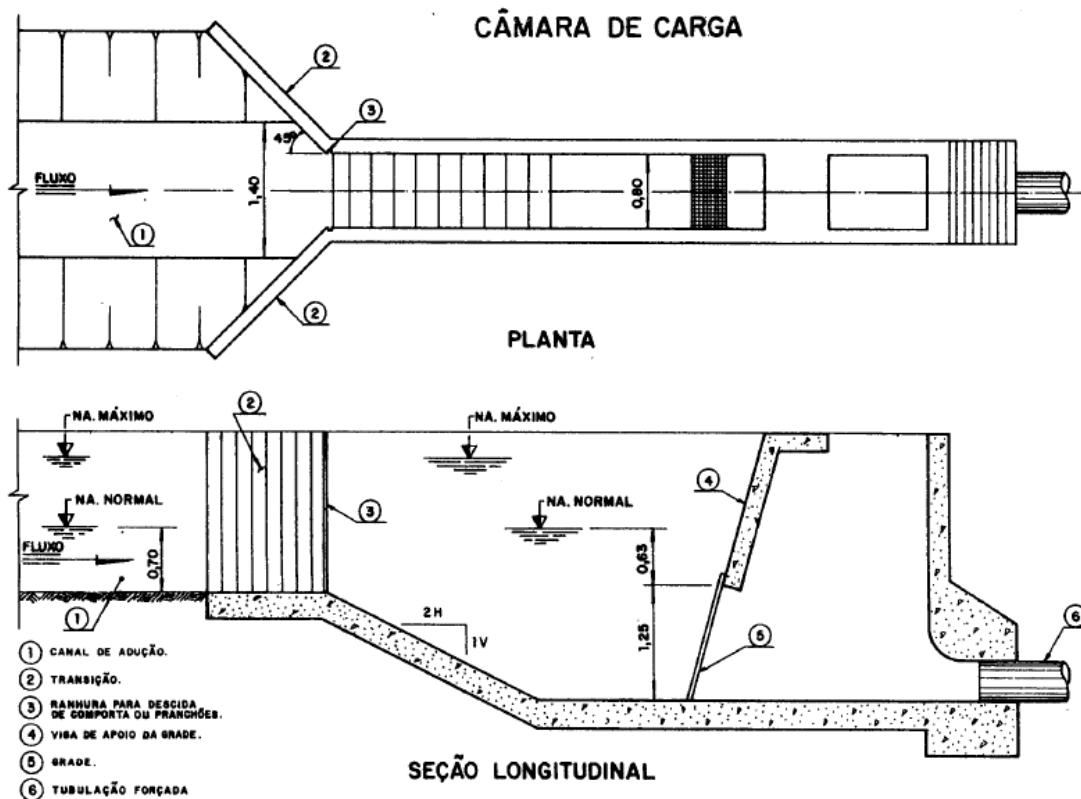


Figura 13 - Sistema de adução é construído por um canal a céu aberto (Fonte: [20])

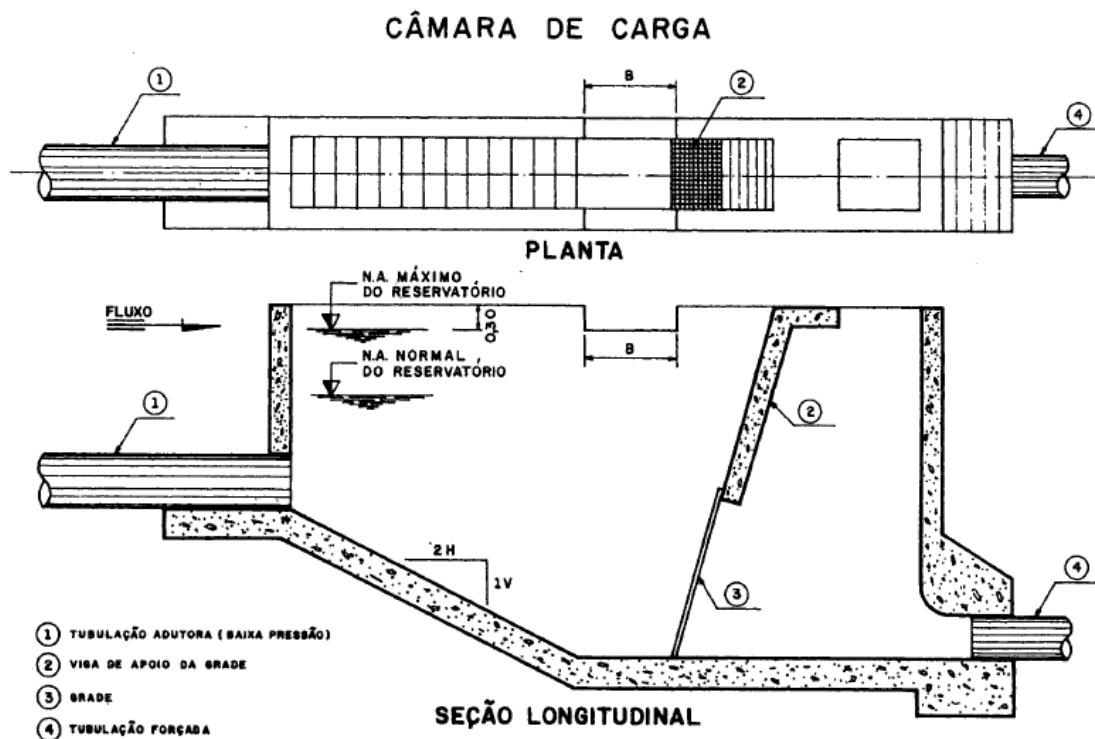


Figura 14 - Sistema de adução através de tubulação de baixa pressão (Fonte: [20])

### 3.6.7) Canal de fuga

O canal de fuga é por onde as águas deverão voltar para o rio depois de movimentarem as turbinas.

De acordo com [27], o escoamento ao longo deste canal deve ter velocidade baixa, e suas medidas devem ser condicionadas ao tipo e à dimensão da casa de máquinas bem como à distância entre a casa e o rio.

Na Figura 15, está representado um canal de fuga restituindo a água ao leito natural do rio



Figura 15 - Canal de fuga (Fonte: [21])

### 3.6.8) Casa de máquinas

A casa de máquinas é a estrutura cuja finalidade é proteger os seguintes equipamentos: turbina, gerador e o sistema de controle. Geralmente, são construídas um pouco acima do nível de cheia do rio.

As centrais hidroelétricas abaixo de 1 kW normalmente possuem a casa de máquinas no formato de uma caixa com uma tampa removível. Em centrais maiores, ela pode ser uma edificação com duas ou três salas para abrigar o equipamento eletromecânico e oferecer acomodação para os operadores [21].

### 3.6.9) Turbinas hidráulicas

As turbinas hidráulicas são dispositivos utilizados em PCHs para conversão da potência hidráulica em potência mecânica. São constituídas por caixa espiral, pré-distribuidor, distribuidor, rotor e tubo de sucção. É solidamente conectada ao gerador pelo eixo, sendo sua velocidade controlada pelo fluxo de d' água e pelo gerador.

Segundo [15], as turbinas devem ser escolhidas de modo a se obter facilidade de operação e de manutenção, dando-se grande importância à sua robustez e confiabilidade, pois a tendência é de que a usina seja operada no modo não assistido.

A norma 12591 – Dimensões Principais de Turbinas para PCH indica as dimensões necessárias, por meio de cálculos simplificados, que permitem a determinação de características principais da turbina para facilitar o arranjo civil. Para selecionar o tipo de turbina, utilizam-se os parâmetros: queda líquida e vazão de projeto para turbina. A potência estimada na saída pode ser obtida na Figura 21, através da interpolação dos valores das linhas oblíquas.

A seguir, apresentam-se as principais turbinas hidráulicas, suas recomendações, características e para quais vazões e alturas de quedas são mais recomendadas.

### 1. Turbina Pelton

As turbinas Pelton atendem a quedas de 100 m a 500 m e potências de 500 kW a 12.500 kW. Em casos excepcionais pode ir até a 1000 m [15].

São classificadas por turbinas de ação, pois utilizam a velocidade do fluxo de água para provocar o movimento de rotação, como mostrado na figura abaixo.



Figura 16- Turbinas de ação

Essas turbinas são instaladas em rios de baixa vazão, assim obtendo-se a força necessária para geração de energia devido à altura da queda da água. De acordo com [29], caracterizam por baixas rotações, e atingem um rendimento de até 93%.

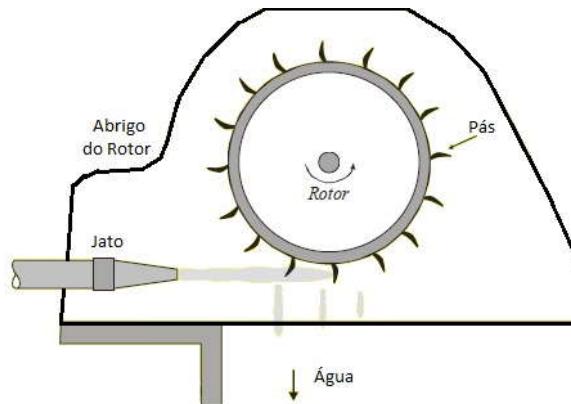


Figura 17 - Turbina Pelton (Fonte: [29])

## 2. Turbina Francis

As turbinas Francis são as mais versáteis e as mais utilizadas no Brasil, atende a quedas de 15 m a 250 m e potências de 500 kW a 15.000 kW possuindo ótimas características de desempenho. Se for instalada em caixa aberta, aconselha-se o uso para baixas quedas até 10 m [15] [20].

São classificadas por turbinas de reação porque o escoamento na zona da roda se processa a uma pressão inferior à pressão atmosférica.



Figura 18 - Turbinas de reação

Esse tipo de turbina é instalado em rios de média vazão e média altura, e opera totalmente submersas. Em relação às turbinas Pelton, têm um rendimento máximo mais elevado, velocidades maiores e menores dimensões.

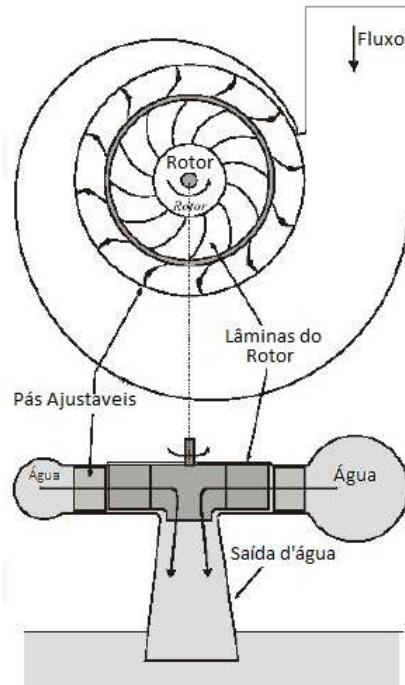


Figura 19 - Turbina Francis (Fonte: [29])

### 3. Turbina Kaplan

As turbinas Kaplan atendem a baixas quedas e altas vazões, sua faixa de potência é de 500 kW a 5.000 kW, a única diferença entre este tipo de turbina e a Francis é o rotor. Este tipo de turbina também são classificadas como turbinas de reação, como apresentado na Figura 18. Essas turbinas apresentam uma boa curva de rendimento, garantindo assim bom rendimento em uma ampla faixa de operação.

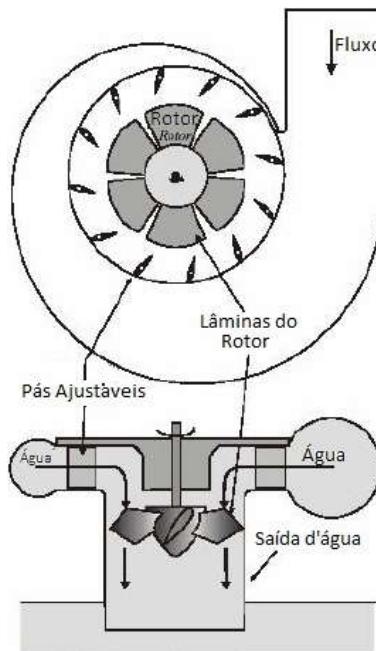


Figura 20 - Turbina Kaplan (Fonte: [29])

As turbinas Kaplan atendem a baixas quedas e altas vazões, sua faixa de potência é de 500 kW a 5.000 kW, a única diferença entre este tipo de turbina e a Francis é o rotor. Este tipo de turbina também são classificadas como turbinas de reação, como apresentado na Figura 18.

### 4. Seleção do tipo de turbina

A queda líquida (m) e a vazão de projeto por turbina ( $m^3/s$ ) são os parâmetros utilizados para a escolha preliminar do tipo de turbina, conforme gráfico da Figura 21.

A potência (kW) estimada na saída pode ser obtida da mesma figura, bastando interpolar os valores das linhas oblíquas [20].

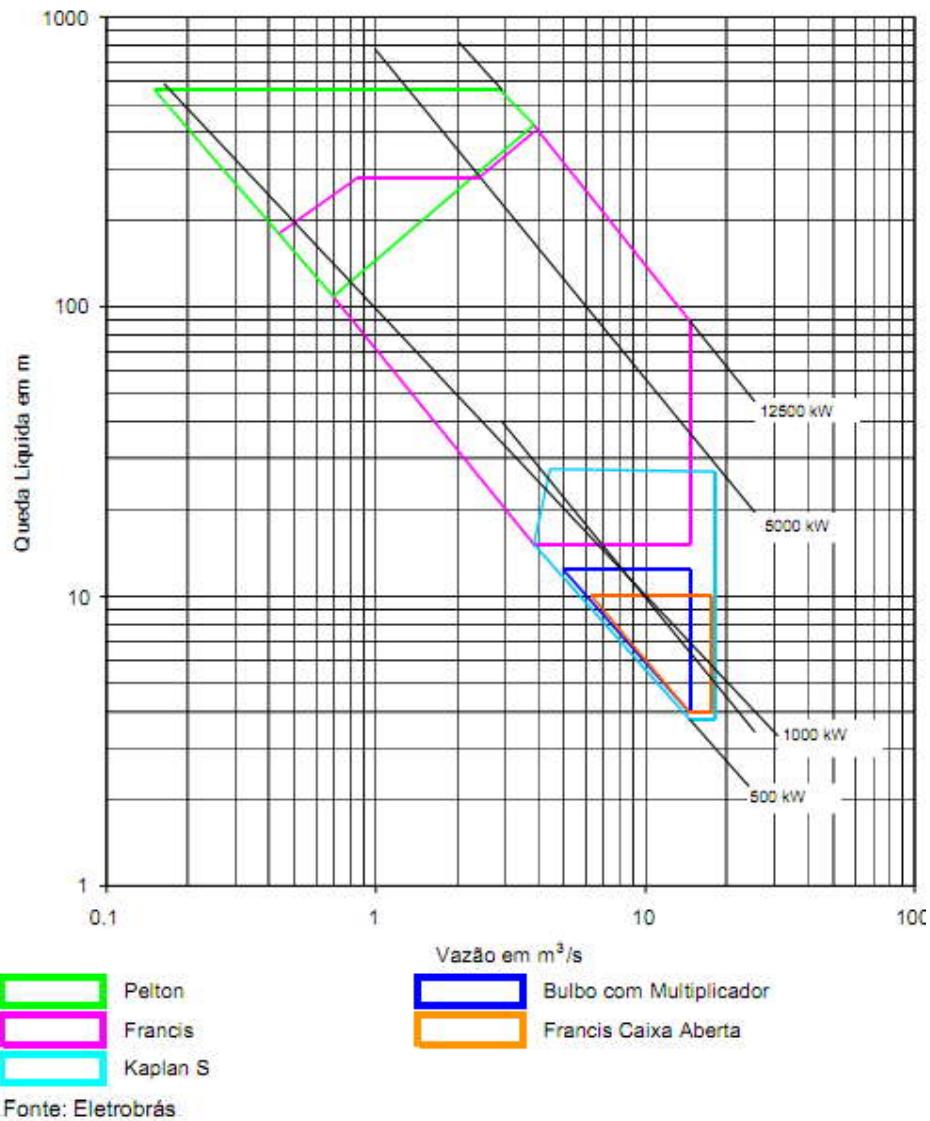


Figura 21 - Escolha do tipo de turbina através da queda líquida e vazão (Fonte: [20])

### 3.6.10) Gerador

Os geradores têm como função a conversão de energia mecânica (advinda das turbinas) em energia elétrica. Segundo [27], os geradores podem ser síncronos ou assíncronos. Os síncronos, de maior aceitação e historicamente mais utilizados, são máquinas elétricas que trabalham com velocidade constante e igual à velocidade síncrona, que é uma função da frequência da tensão gerada e do número de pares de pólos do rotor.

Os geradores assíncronos (ou geradores de indução) possuem a característica básica de trabalharem com rotações levemente superiores a de rotação síncrona. Na realidade esta é uma das condições básicas para que a conversão de energia útil possa ser efetuada.

Quando em paralelo com o sistema elétrico os geradores assíncronos são uma opção mais simples que os síncronos. Economicamente eles são atrativos apenas para potências menores, (da ordem de poucos MVA).

Em operação, a energia mecânica é utilizada para fazer girar o rotor, o qual induz uma tensão nos terminais dos enrolamentos, que ao serem conectados as cargas, levam a circulação de correntes elétricas.

A potência do gerador é determinada após o cálculo da potência disponível no eixo da turbina, através da equação 5 [20]:

$$P_G = P_T \left( \frac{\eta_G}{\cos \phi} \right) \quad \text{eq.(5)}$$

Em que:

$P_G$  : potência do gerador (kVA);

$P_T$  : potência no eixo da turbina (kW);

$\eta_G$  : rendimento do gerador;

$\cos \phi$  : fator de potência do gerador

### 3.6.11) Subestação transformadora

A Subestação transformadora é aquela que converte a tensão de suprimento para um nível diferente, maior ou menor, sendo designada, respectivamente, subestação transformadora elevadora e subestação transformadora abaixadora [51].

As subestações elevadoras permitem o aumento da tensão gerada. Visando diminuir a corrente e consequentemente a espessura dos condutores e as perdas. É utilizada para facilitar o transporte da energia, diminuição das perdas do sistema e melhorias no processo de isolamento dos condutores [52].

As subestações abaixadoras reduzem a tensão de transmissão para a tensão de subtransmissão. As linhas de subtransmissão de tensão têm a finalidade de distribuição, ou seja, suprir todas as cargas elétricas da unidade, atendendo a demanda de energia elétrica a serem instaladas. Ela tem a função de transformar a tensão nos níveis desejados pelos consumidores.

Com base na potência, quantidade, tipo e dimensões das máquinas, deverão ser dimensionados as dependências das subestações, a qual abriga os equipamentos elétricos e eletro-mecânico auxiliares.

Conforme [20], para o dimensionamento do transformador recomenda-se a escolha da potência do transformador igual à potência máxima do gerador, em kVA. A tensão do primário deve ser igual à tensão do gerador, e a tensão nominal do secundário igual à tensão adotada pra a linha.

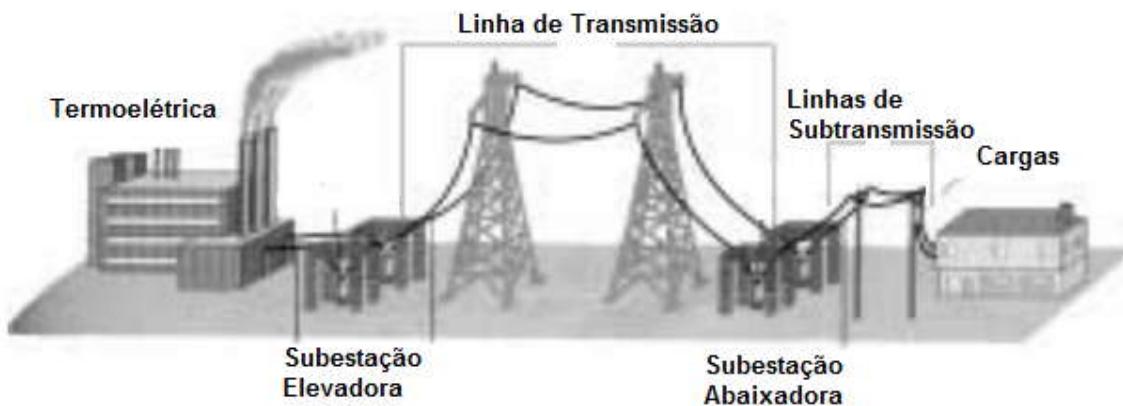


Figura 22 - Subestação (Fonte: [53])

### 3.6.12) Linha de transmissão

As linhas de transmissão são aquelas constituídas por ligações físicas entre uma fonte de energia e um elemento consumidor desta energia. As linhas têm como função principal o transporte da energia entre os centros de produção e consumo, bem como a interligação de centros de produção e de sistemas independentes, como demonstra a Figura 23.

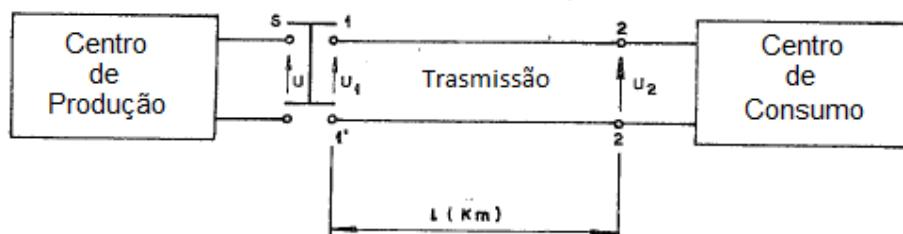


Figura 23 - Linha de transmissão ideal (Fonte: [28])

É importante destacar que o custo do transporte aumenta com a distância a ser vencida e diminui com a quantidade de energia a ser transportada. Qualquer estudo de viabilidade econômica deverá equacionar o custo de produção e de transporte de energia produzida [28].

## Capítulo 4

# Central Termoelétrica

As usinas termoelétricas de energia (UTEs) são empreendimentos que produzem energia elétrica a partir da energia térmica provida por um processo de combustão ou fissão. Na Figura 24, está apresentado um fluxograma simples do processo de produção da energia elétrica por meio de uma central térmica.



Figura 24 - Fluxograma básico de uma central térmica

Portanto, neste capítulo será descrito sucintamente o funcionamento dessas centrais térmicas através do processo de combustão e os seus principais equipamentos. Desse modo, trataremos de forma mais conceituada e aprofundando o assunto à medida que necessário para o maior entendimento dessas centrais, a qual será composta no sistema híbrido proposto neste estudo.

### 4.1) Princípio de funcionamento

A central térmica produz energia elétrica por meio do calor proveniente de fontes não renováveis como: carvão mineral, petróleo, gás natural e nuclear, e fontes renováveis como a biomassa e o biogás.

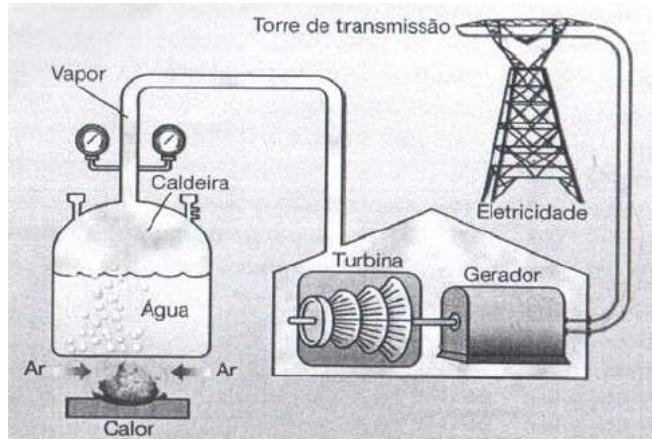


Figura 25 - Modelo esquemático simplificado de uma termoelétrica (Fonte: [30])

Na Figura 25, está representado um modelo simplificado de uma central térmica a combustão, onde é possível observar que o calor liberado é transferido para a água, aquecendo-a e transformando-a em vapor. O vapor de água assim obtido a uma determinada pressão vai acionar a turbina que, por sua vez, movimenta o gerador elétrico.

As centrais termoelétricas operam através dos principais ciclos termodinâmicos: Rankine, Brayton e Ciclo Combinado. Segundo [31], os ciclos têm por objetivo representar as transformações dos fluidos, que são determinadas pela temperatura, pressão e volume, sendo que dois destes são escolhidos para serem controlados, dependendo do processo. No caso de centrais termelétricas o controle dos fluidos é feito de acordo com a variação de temperatura e pressão.

Os rendimentos elétricos dos ciclos variam de 20% a 50% [32], aumentando na seguinte ordem: Rankine, Brayton e Ciclo Combinado. O rendimento do ciclo aumenta também com o aumento da potência.

### 1. Ciclo de Rankine

Nesse ciclo utiliza-se o calor proveniente da queima de combustíveis. O calor gerado por esta queima transforma a água em vapor na caldeira. Este vapor, a alta pressão, é utilizado para girar a turbina, que por sua vez, aciona o gerador elétrico pelo eixo. Por fim, o vapor, que após passar na turbina ainda tem uma alta temperatura, é condensado, transferindo o restante de sua energia térmica para um circuito independente e isolado de resfriamento. Em seguida a água é bombeada para a caldeira, completando o ciclo. A Figura 26 mostra o esquema do ciclo de Rankine.

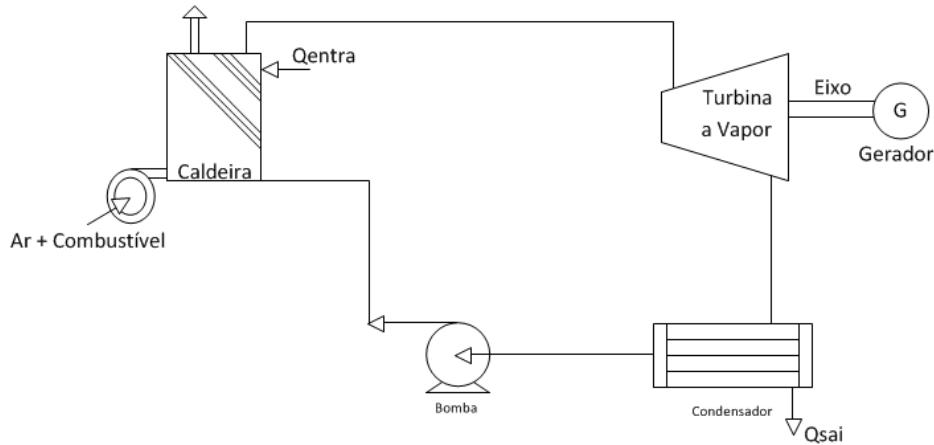


Figura 26 - Ciclo de Rankine

Outra característica importante desse sistema é a diversidade dos combustíveis utilizados, pois a queima dos combustíveis será utilizada apenas para geração de vapor, sendo que o fluido de trabalho utilizado é a água. Devido a esses fatores é uma tecnologia conhecida e bem dominada [31]. De acordo com [29], estas usinas operam com eficiência entre 30 e 42%.

## 2. Ciclo de Brayton

No ciclo Brayton os gases resultantes da queima do combustível fóssil, como o óleo diesel ou gás natural, aciona diretamente uma turbina a gás, que está acoplada a um gerador. A Figura 27 ilustra a seqüência de funcionamento do ciclo Brayton. Inicialmente ocorre a admissão do ar na entrada do compressor, onde esse encontra-se a uma temperatura elevada devido à alta razão de compressão. Em seguida, ocorre a mistura do ar ao combustível na câmara de combustão, formando gases quentes que irão produzir trabalho no eixo do grupo turbina-gerador.

Após passar na turbina os gases têm ainda um grande conteúdo de energia e temperaturas relativamente altas, esse calor pode ser utilizado em processos industriais [29][31].

Este ciclo é o mais indicado para sistemas de que utilizam gás natural.

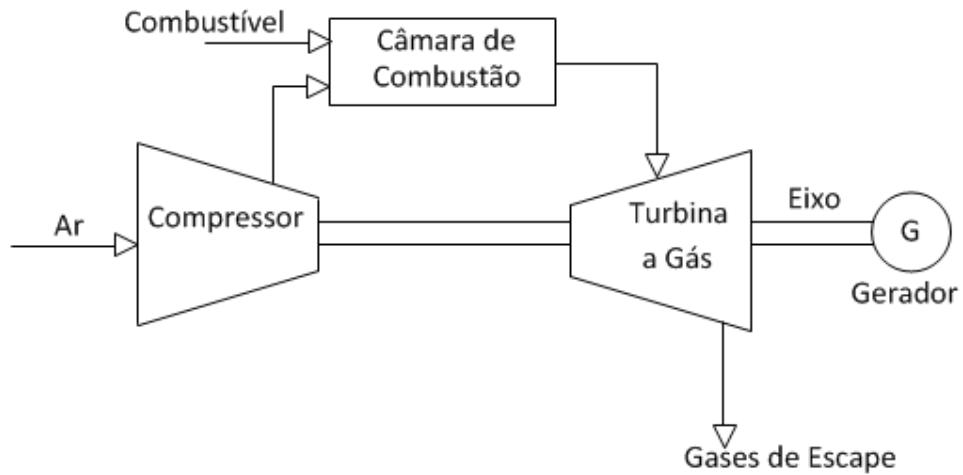


Figura 27 - Ciclo de Brayton

### 3. Ciclo de Combinado

O Ciclo Combinado é a geração de energia elétrica, através da combinação dos dois ciclos de potência descritos anteriormente, ou seja, o calor liberado por um ciclo é utilizado como alimentação do outro ciclo. O esquemático deste ciclo combinado, pode ser visualizado na Figura 28.

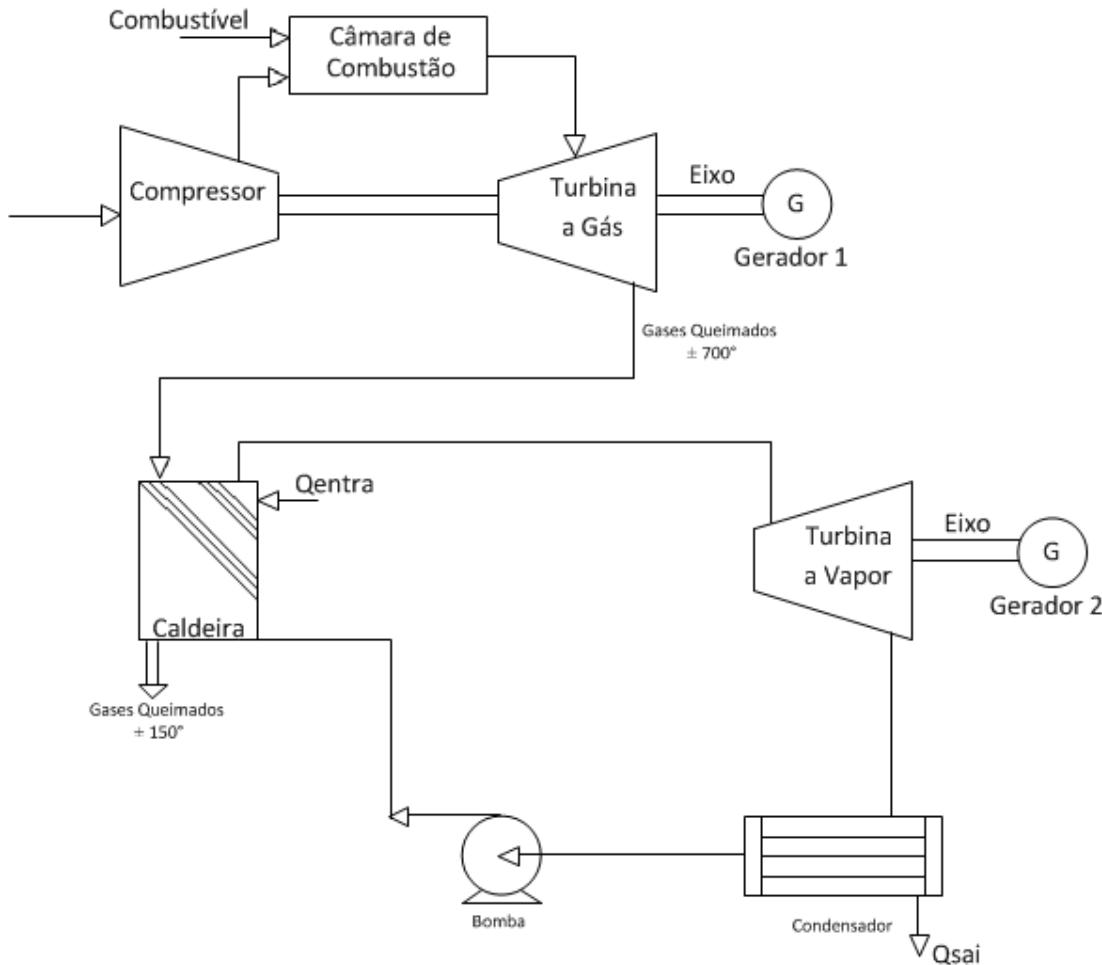


Figura 28 - Ciclo Combinado

Deve-se ressaltar um processo que combina a operação de uma turbina a gás com uma turbina a vapor. Os gases de escape da turbina a gás, devido à alta temperatura, promovem a transformação da água em vapor para o acionamento de uma turbina a vapor, uma vez que, ambas as turbinas estão diretamente acoplada a geradores distintos [31].

O Ciclo Combinado possui um rendimento superior aos ciclos Rankine e Brayton separadamente. É o ciclo mais indicado em processos de produção de energia, operando com um rendimento entre 42 e 52% [29].

## 4.2) Componentes construtivos

Atualmente, uma unidade termoelétrica é composta de um conjunto de equipamentos principais, sendo esse: caldeira, turbina, gerador, subestação e uma série de equipamentos auxiliares, que têm por função a complementação das necessidades da unidade, para produção de energia elétrica [33].

Este capítulo destina-se a caracterização destes componentes, sem maiores detalhes específicos como o dimensionamento.

### 4.2.1) Caldeira

A caldeira tem como principal função a produção de vapor por meio da queima de combustíveis para o acionamento da turbina. Quanto à construção, as caldeiras são divididas em:

#### 1. Aquatubulares

Nas aquatubulares os gases circulam por fora dos tubos, enquanto a água circula por dentro. A circulação de água por dentro dos tubos se dá por convecção natural, devido à diferença de densidade existente entre o líquido e o vapor formado.

#### 2. Flamotubular

A Flamotubular caracteriza pelos gases que circulam por dentro dos tubos, aquecendo a água que circula por fora destes.

Os principais equipamentos de uma caldeira podem ser visualizados na Figura 29,

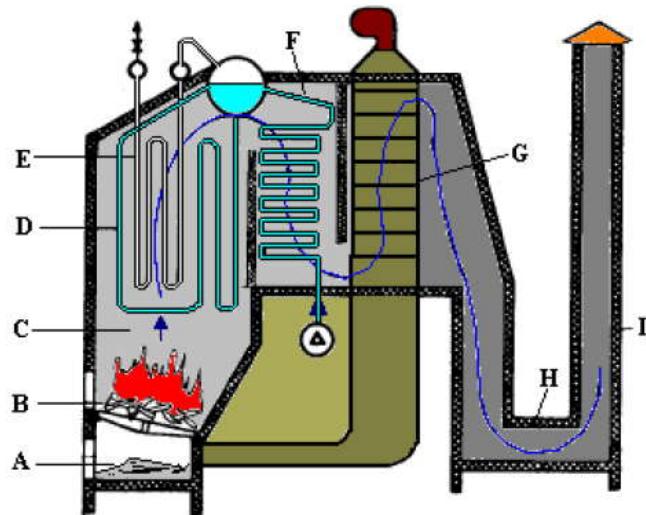


Figura 29 - Componentes da caldeira aquatubular (Fonte: [34])

Legenda:

*A - Cinzeiro:* em caldeiras de combustíveis sólidos, é o local onde se depositam as cinzas ou pequenos pedaços de combustível não queimado.

*B- Fornalha:* com grelha ou queimadores de óleo ou gás.

*C- Seção de irradiação:* são as paredes da câmara de combustão revestidas internamente por tubos de água.

*D- Seção de convecção:* feixe de tubos de água, recebendo calor por convecção forçada; pode ter uma ou mais passagens de gases.

*E- Super aquecedor:* trocador de calor que aquecendo o vapor saturado transforma-o em vapor superaquecido.

*F- Economizador:* trocador de calor que através do calor sensível dos gases de combustão saindo da caldeira aquecem a água de alimentação.

*G- Pré-aquecedor de ar:* trocador de calor que aquece o ar de combustão também trocando calor com os gases de exaustão da caldeira.

*H- Exaustor:* faz a exaustão dos gases de combustão, fornecendo energia para vencer as perdas de carga devido à circulação dos gases.

*I- Chaminé:* lança os gases de combustão ao meio ambiente, geralmente a uma altura suficiente para dispersão.

A caldeira pode ainda ter equipamentos de limpeza dos gases, tais como: filtros, ciclones ou precipitadores eletrostáticos para captação de material particulado ou ainda lavadores de gases para captação de gases ácidos, como SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub> [31][34].

#### 4.2.2) Turbina a vapor

A turbina a vapor converte a energia térmica em energia mecânica através do vapor, acionando um eixo acoplado ao gerador síncrono. O vapor superaquecido à alta pressão e temperatura, entra nos bocais e é acelerado, convertendo a energia térmica em energia cinética. O fluxo passa, então, para as partes móveis da turbina, exercendo uma força tangencial no rotor, para girar o eixo ao qual o gerador se encontra acoplado.

Da mesma forma que as turbinas hidráulicas, as turbinas a vapor apresentam sua construção dividida em dois grupos:

## 1. Turbinas de Ação

Nas turbinas de ação o vapor se expande somente nos bocais, havendo uma queda de pressão e aumento da energia cinética. Este vapor com alta velocidade incide sobre as pás móveis, convertendo sua energia cinética em trabalho mecânico. É interessante notar que a pressão se mantém constante nas pás móveis [36].

Na Figura 30, está representando uma turbina de ação, a transformação da energia térmica ocorre entre todas as palhetas fixas, enquanto as palhetas móveis que se encontram acopladas ao eixo da turbina transformam energia cinética em mecânica.

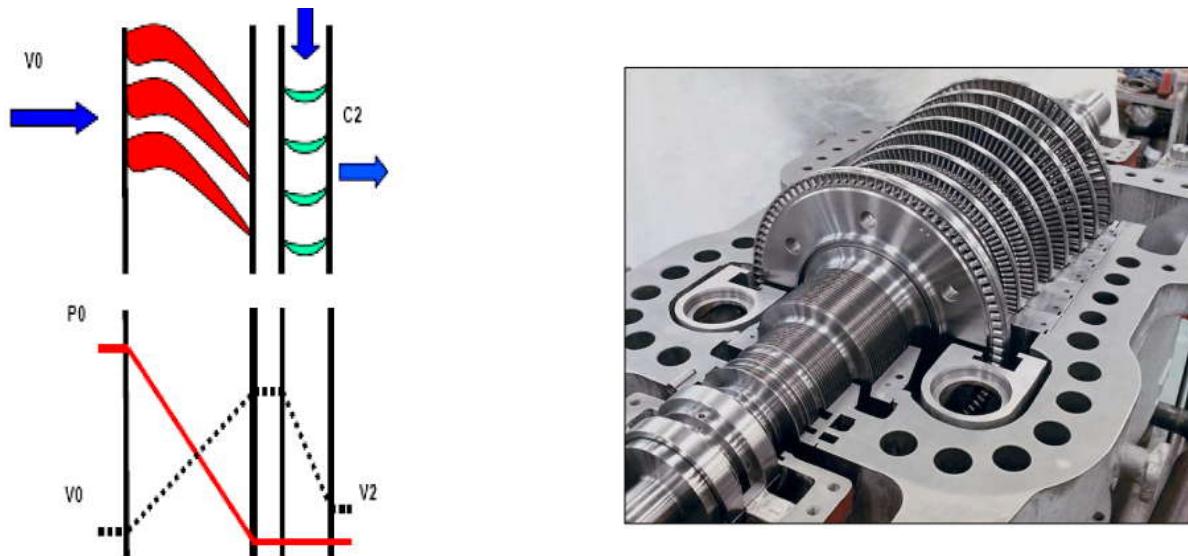


Figura 30 - Turbina de ação (Fonte: [35])

## 2. Turbinas de Reação

As turbinas de reação são projetadas para que a pressão diminua ao longo das pás fixas e móveis. As turbinas de reação são mais eficientes e compactas do que as turbinas de ação, pois possuem menos estágios [36].

A Figura 31, mostra uma turbina de reação, onde a transformação se verifica, em parte entre as palhetas fixas e em parte entre as móveis.

Alguns fatores que influenciam o rendimento das turbinas a vapor são:

- *Temperatura inicial do vapor*: quanto maior a temperatura, maior o rendimento do ciclo térmico;

- *Potência da máquina*: quanto maior a potência da máquina, maior será o rendimento;
- *Variações na carga*: variações na carga influenciam a potência e, portanto, o rendimento;

As turbinas a vapor possuem um rendimento da ordem de 38% em ciclo simples e elevadíssimo rendimento, quando aplicadas em sistemas de ciclo combinado [31].

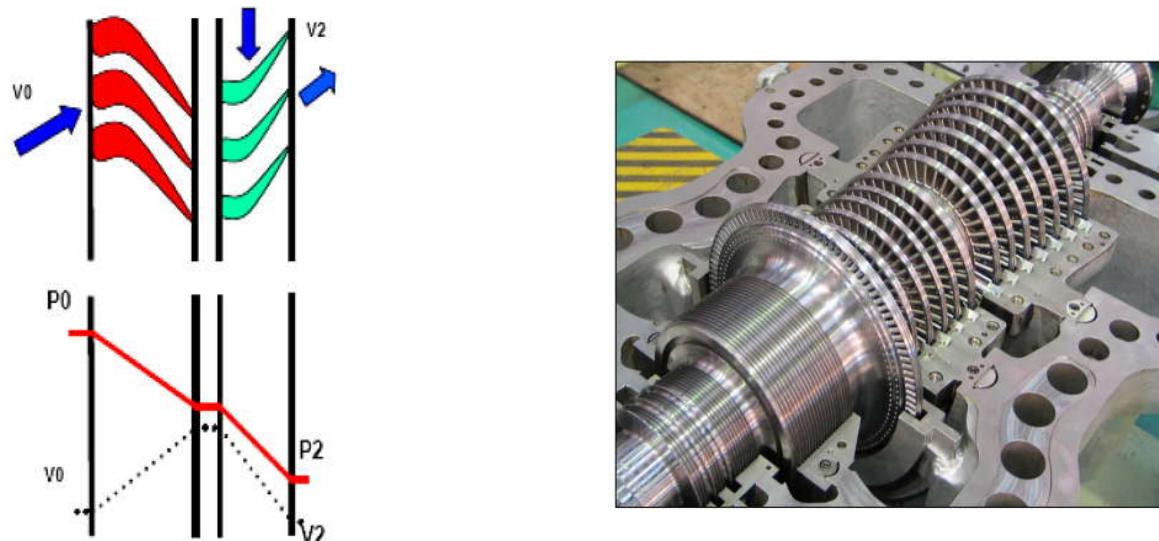


Figura 31 - Turbina de reação (Fonte: [35])

#### 4.2.3) Turbina a gás

A turbina a gás é composta basicamente por três elementos: compressor, câmara de combustão e a turbina propriamente dita. O esquemático de uma turbina a gás é mostrado na Figura 32.

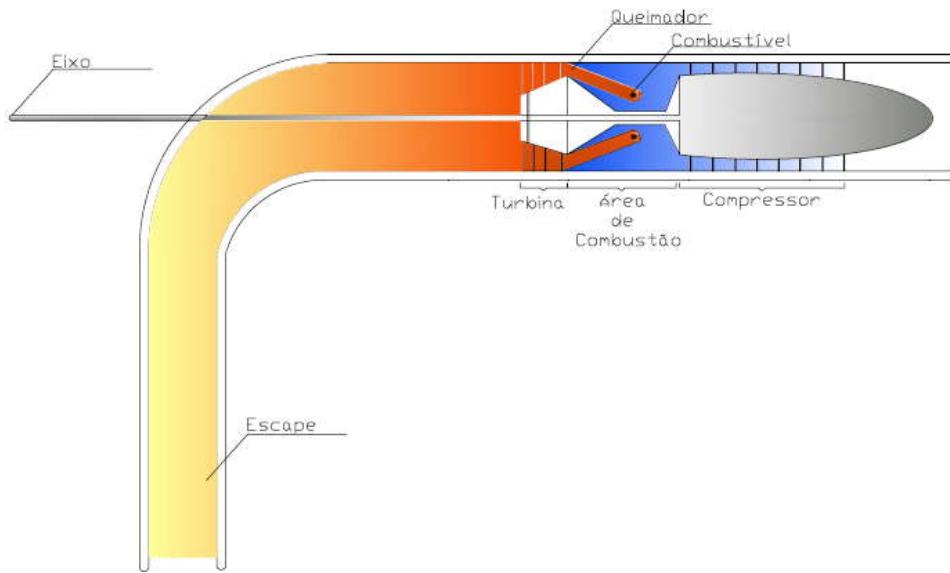


Figura 32 - Principais componentes da turbina a gás

O processo inicia-se com a aspiração do ar da atmosfera pelo compressor, o qual é posteriormente comprimido. Dessa forma, ocorre uma elevação na temperatura devido à alta razão de compressão. Em seguida é enviado para a câmara de combustão, onde ocorrerá a mistura com o combustível, reagindo quimicamente, formando gases quentes. Estes escoam para a turbina e se expandem produzindo trabalho no eixo do compressor acoplado a um gerador elétrico. Devido ao fato do fluido de trabalho ser o gás resultante da queima do combustível, as turbinas a gás classificam-se como máquinas de combustão interna.

O tipo de combustível utilizado afeta diretamente a potência e a taxa de calor gerada pela turbina, assim necessitando de um combustível de alta qualidade, com um baixo teor de contaminantes e baixa viscosidade.

O rendimento de uma turbina a gás varia entre 18 a 35% [32], podendo variar pelos seguintes fatores:

- *Temperatura do ar de aspiração da turbina*: quanto maior a temperatura de aspiração maior será a energia para acionar o compressor de ar, diminuindo o rendimento e a potência;
- *Perdas de carga na admissão do ar e na saída dos gases de escape*: estas perdas são geradas pelos sistemas de atenuação de ruído e filtragem de ar, no lado da admissão e da aplicação que deverá ser dada aos gases de escape.
- *Regime de funcionamento da turbina*: uma turbina mono eixo terá uma diminuição no rendimento caso haja uma diminuição na carga;

- *Altitude de instalação:* um aumento da altitude diminui a potência, devido à diminuição da pressão atmosférica [31].

#### 4.2.4) Equipamentos auxiliares

Deve-se ressaltar que as centrais termoelétricas possuem equipamentos auxiliares como condensadores, bombas e sistemas de proteção. As térmicas de biomassa apresentam um sistema de gaseificação, sendo que ocorre um processo endotérmico de conversão de um combustível sólido (no caso a biomassa) em gás de baixa ou média capacidade calorífica. Na Figura 33, está representado dois tipos de gaseificadores.

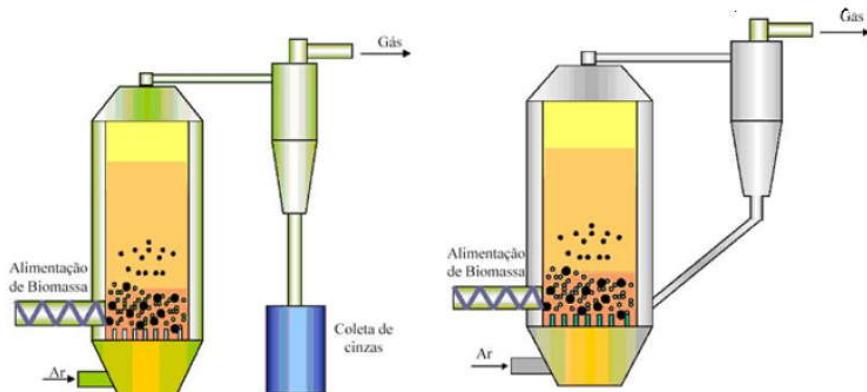


Figura 33 - Gaseificador

O gaseificador é um reator químico, onde ocorre o processo de gaseificação. Parte do combustível entra em combustão como em uma fornalha qualquer e a característica principal da gaseificação é que o fornecimento de ar é controlado de modo a evitar que a combustão se estenda a toda a carga [31].

#### 4.2.5) Gerador, subestação e linhas de transmissão

Da mesma forma que as PCHs, as centrais termoelétricas apresentam geradores, subestação e linhas de transmissão. O funcionamento desses componentes é análogo, aos apresentados anteriormente nos itens 3.6.10, 3.6.11 e 3.6.12.

## Capítulo 5

# Sistema Híbrido

Os esforços para universalização da oferta de energia elétrica em sistemas isolados ou interligados requer uma busca contínua de soluções criativas. Nesse contexto, a tecnologia híbrida surge como alternativa de geração de energia. Sendo assim, esse trabalho tem como foco o estudo de sistemas isolados, cujas aplicações mais frequentes para esses sistemas são: eletrificação de residências, prédios, iluminação, sistemas de iluminação de emergência, pequenos empreendimentos e atendimento de estações de telecomunicações [2].

### 5.1) Definição

Os Sistemas híbridos para geração de energia elétrica podem ser definidos como associações de duas ou mais fontes de energia com o objetivo básico de fornecer eletricidade a uma determinada carga ou a uma rede elétrica, isoladas ou conectadas ao sistema interligado. Deve ressaltar que as fontes geram e distribuem eletricidade de forma otimizada e confiável, e com custo mínimo, dada a capacidade de uma fonte suprir a ausência momentânea da outra.

Normalmente, esses sistemas são compostos por fontes renováveis cujos recursos são intermitentes e, caso necessário, contam com a complementação de grupos geradores com motores a combustão, para suprir eventuais períodos de escassez de recursos renováveis. Entre as fontes renováveis, destacam-se a solar fotovoltaica, a eólica, a hídrica e a térmica a biomassa. Entre os grupos geradores utilizados atualmente, destacam-se os geradores a diesel, a gasolina, a gás, ou a biocombustíveis [37].

A Figura 34 apresenta uma configuração de sistema híbrido com duas fontes de energia e um sistema de condicionamento de potência, o qual alimenta um barramento isolado ou interligado.



Figura 34 - Sistema híbrido

O Sistema de condicionamento de potência em sistemas isolados atua de forma a coordenar a operação do sistema e fornecer eletricidade adequada ao uso. Em aplicações interligadas são empregados para garantir interconexão ótima com a rede elétrica, minimizando impactos que porventura venham a ser causados pelas fontes.

A aplicação ótima de sistemas híbridos dá-se quando há disponibilidade de recursos energéticos no local de instalação do sistema, e esses recursos são adequadamente combinados para garantir atendimento confiável, e de qualidade, no ponto de entrega [37]. A produção de energia elétrica pode ser caracterizada como autoprodutor ou produtor independente como descrito no item 3.3.

Portanto, neste trabalho o enfoque é dado para o sistema híbrido Hidráulico – Térmico, o qual será referenciado a partir de agora como sistema híbrido PCH-Biomassa.

## 5.2) Sistema híbrido PCH-Biomassa

O sistema híbrido PCH-Biomassa utiliza a água e a biomassa como “combustível” para geração de eletricidade. Desta maneira, o lugar de instalação de sistemas deste tipo deve apresentar a existência destes recursos naturais. Estas condições não se dão em todas as partes, tornando-se necessário conhecer em detalhes o potencial hídrico e térmico da região, antes de decidir pela instalação de um sistema híbrido deste tipo. Na Figura 35, está apresentado o fluxograma do sistema híbrido PCH-Biomassa em um sistema isolado.

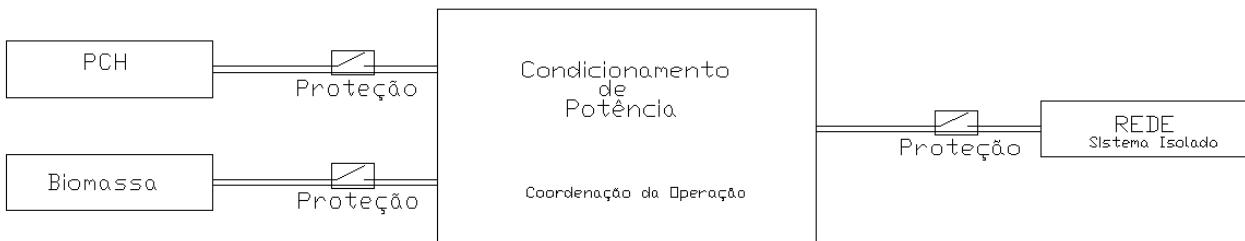


Figura 35 – Esquemático simplificado de um sistema híbrido PCH-Biomassa

O sistema é essencialmente composto pelas fontes de energia descritas nos capítulos 3 e 4, além do sistema de proteção, condicionamento de potência e a rede isolada. O sistema de proteção tem a finalidade de proteger as unidades de geração e transmissão, a fim de evitar danos aos equipamentos e desligamentos desnecessários.

Para implantação do sistema híbrido PCH-Biomassa em locais isolados devem-se analisar as seguintes parâmetros:

1. Demanda Energética do Local

A demanda energética é o levantamento das cargas a serem atendidas em um período específico, podendo ser definida em kW e kVA.

Para os sistemas isolados a primeira etapa é o levantamento da demanda através de residências, pequenos empreendimentos, iluminação, ou seja, a carga a ser consumida localmente. Com a demanda definida os projetistas dimensionam a capacidade do sistema híbrido PCH-Biomassa para que atenda a demanda.

2. Características Geográficas

As características geográficas do Brasil, que apresenta uma grande extensão e com grande número de pequenos núcleos habitacionais isolados, isto é, consumidores individuais, pequenas comunidades, e até mesmo municípios de pequeno/médio porte, isolados geograficamente, fazem uso dessa tecnologia para suprir suas necessidades energéticas [37]. Com referência mundial em geração hidráulica e o amadurecimento das tecnologias de biomassa certamente torna atrativo o sistema híbrido PCH-Biomassa.

### 3. Disponibilidade dos Recursos

Para implantação do sistema híbrido PCH-Biomassa é necessário conhecer a disponibilidade dos recursos. A Tabela 6, apresenta o potencial disponível no Brasil para implantação das PCHs.

**Tabela 6 - Potencial de PCH no Brasil (Fonte: [52])**

	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	Brasil
Potencial Conhecido <sup>3</sup> (MW)	773	706	2.808	3.275	2.899	10.460
Potencial Teórico (MW)	4.763	155	3.911	3.625	3.000	15.454
Total (MW)	5.535	860	6.719	6.900	5.899	25.913

Na Tabela 7 é apresentado o potencial da biomassa no Brasil, ou seja, é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica que pode ser utilizada na produção de energia.

**Tabela 7 - Potencial da Biomassa no Brasil (Fonte: [54])**

Matéria Orgânica	Potencial em Toneladas
Bagaço de Cana	84.300.000
Resíduos Agrícolas	90.000.000
Indústria da Madeira	60.000.000
Casca de Arroz	10.000.000
Casca de Coco	1.000.000
Castanha de Cajú	900.000
Total	245.300.000

<sup>3</sup> Descontados os empreendimentos em operação.

Através desses dados nota-se o grande potencial dessas fontes, uma vez que, o Brasil apresenta condições favoráveis a esses recursos podendo contribuir de maneira significativa para produção de energia elétrica em uma determinada região.

### 5.3) Vantagens e desvantagens

Sistemas híbridos PCH-Biomassa, assim como todos os outros sistemas de geração de energia, apresentam particularidades que os tornam mais ou menos adequados a determinadas aplicações. Além das análises de viabilidade técnica e econômica, fundamentais no estudo de qualquer tipo de sistema, outras considerações sobre as vantagens e desvantagens de cada um devem ser feitas para que se possa realizar uma análise mais criteriosa sobre qual sistema instalar [37].

No entanto quanto mais criteriosa for a análise, maiores serão as chances do empreendimento ser bem sucedido, principalmente com relação à suas vantagens e desvantagens, esse assunto é bem abordado e comentado no seguinte trabalho [37].

### 5.4) Análise ambiental

A obtenção de energia e a busca por sustentabilidade geram discussões mundiais, que envolvem interesses ambientais, sociais, políticos e econômicos. O Planejamento de Recursos Integrados (PIR) aplicado ao planejamento energético possibilita a diminuição de custos completos e impactos ambientais e sociais [55].

Este trabalho não tem com intuito avaliar os riscos ambientais, no entanto como se trata de fontes renováveis de energia e por serem de pequeno porte, assim ocupam áreas diminutas, tais impactos são mínimos se comparados com fontes não renováveis. Para que o leitor possa entender mais sobre esse assunto, os seguintes trabalhos [55] e o [37] apresentam maiores informações sobre os impactos ambientais.

O sistema híbrido PCH-Biomassa ainda recebe incentivos do PROINFA, o qual contribui para garantia do suprimento de energia para expansão e desenvolvimento do segmento de geração por fontes alternativas, tendo como um de seus benefícios a certificação de emissão de carbono, nos termos do Protocolo de Kyoto **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

## 5.5) Análise econômica

A análise de viabilidade econômica do sistema híbrido PCH-Biomassa isolado é a relação dos custos e seu retorno financeiro esperado. Assim, os custos relacionados a esse sistema são: os custos relativos ao projeto, obras civis, mão de obra, treinamento e equipamentos. Já a receita é obtida através a demanda de energia elétrica consumida e comercializada.

Com base nas receitas e despesas advindas de cada alternativa, pode-se obter um panorama geral sobre os negócios. Contudo, surge a dúvida sobre como avaliar adequadamente os benefícios futuros de cada alternativa, e, quando se refere ao futuro dentro de um sistema econômico, sempre se incorrerá em riscos e incertezas. Ressalta-se, entretanto, que quanto maior for o nível de informação do investidor, menores serão os riscos a que ele estará sujeito [43].

Nos próximos itens são descritos os indicadores utilizados nesse trabalho para o cálculo da viabilidade econômica do sistema híbrido PCH-Biomassa.

### 5.5.1) Fluxo de caixa

O diagrama de fluxo de caixa é um gráfico que apresenta, de forma ordenada e objetiva, todas as receitas e despesas de cada uma das alternativas consideradas em uma análise de investimentos. A Figura 36, apresenta um exemplo de diagrama de fluxo de caixa, onde o eixo horizontal representa o tempo, sendo o número sobre esse eixo referente sempre ao fim do período, ou seja, o número 1 indica o final do período 1, o 2 indica o final do período 2, e assim sucessivamente. O período pode ser definido como qualquer intervalo de tempo [37].

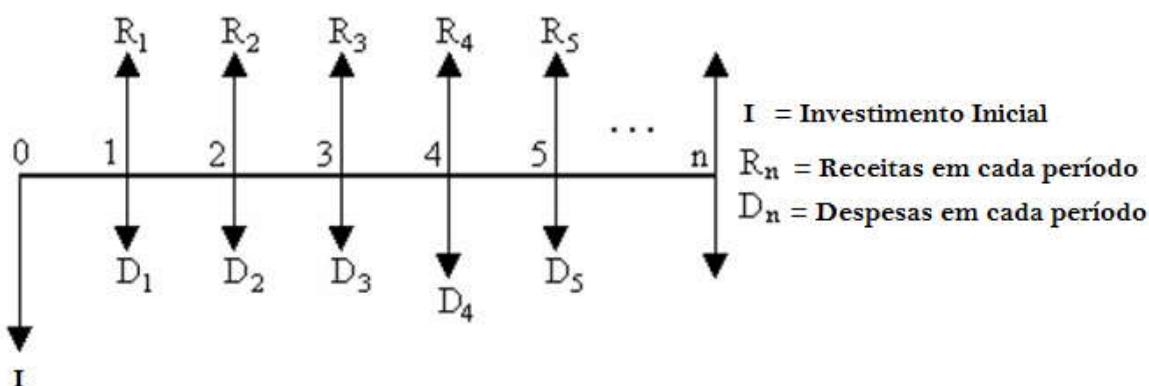


Figura 36 - Diagrama de fluxo de caixa (Fonte: [37])

As setas apontando para cima indicam as receitas (R), enquanto as setas para baixo indicam despesas (D).

Em análises econômicas usuais, normalmente considera-se que a despesa realizada no período 0 refere-se ao investimento inicial (I), e que nesse período não há verificação de qualquer receita. O caixa líquido do projeto é definido como a diferença entre as receitas e as despesas verificadas ao fim de cada período [37].

No estudo do sistema híbrido PCH-Biomassa o fluxo de caixa é projetado para 10 anos.

### 5.5.2) Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

O conceito de taxa mínima de atratividade (TMA) é utilizado como a melhor taxa para realização do cálculo do valor presente das entradas e saídas do fluxo de caixa, com baixo grau de risco, disponível para aplicação do capital envolvido [39].

Dessa forma o TMA consiste na taxa mínima de juros que o investidor pretende conseguir como rendimento ao optar e realizar certo investimento, para o nível de risco escolhido. É a taxa a partir da qual o investidor espera obter ganhos. Corresponde, na prática, a taxa oferecida pelo mercado para uma aplicação de capital como, a caderneta de poupança, depósitos a prazo fixo, e outros. Assim, se um investimento propiciar uma rentabilidade abaixo do rendimento dessas formas de aplicação de capital, ele não será atrativo ao investidor. [40].

### 5.5.3) Valor Presente Líquido (VPL)

O valor presente líquido (VPL) é o valor total dos fluxos de caixa do investimento (negativos e positivos), trazidos a data presente pela taxa de desconto do TMA.

Segundo [41], a característica essencial do método do valor presente "é o desconto para o valor presente de todos os fluxos de caixa esperados como resultado de uma decisão de investimento". Desse modo, os fluxos de caixa futuros serão descontados, utilizando-se a TMA.

Na prática trata-se em trazer para o presente, ou seja, para o tempo em que se iniciou o projeto, todas as despesas e receitas de capital esperados, a uma determinada taxa de juros que represente os juros de mercado [40].

A partir de fluxos de caixa apresentado na Figura 36, para calcular o valor presente líquido pode-se usar a Equação (6).

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} \quad \text{eq.(6)}$$

Em que:

(i): é a taxa de desconto TMA;

(n): é o período genérico;

FC<sub>j</sub>: = é o fluxo de caixa que pode ser positivo (receita) ou negativo (custos);

VPL: = é o valor presente líquido descontado a uma data e taxa TMA (i), e (n) é o número de períodos;

Como no sistema híbrido estão envolvidas duas fontes renováveis, aplica-se uma propriedade da aditividade do VPL. Por exemplo, existindo dois projetos A e B, o VPL do investimento conjunto é (Equação 7):

$$VPL(A + B) = VPL(A) + VPL(B) \quad \text{eq.(7)}$$

No caso do projeto B apresentar VPL negativo, a soma dos dois terá um VPL menor do que o do projeto A que é positivo. Desta forma, provavelmente, não se escolherá um mau projeto (B) só porque está se associando a um bom projeto (A) [40].

Analizando o VPL, a conclusão alcançada é que o negócio é atrativo se  $VPL > 0$ , não é atrativo se  $VPL < 0$  e, ainda, caso  $VPL = 0$ , é indiferente investir no negócio ou aplicar o capital a uma taxa igual à TMA [37]. Assim, a análise econômica do projeto sistema híbrido PCH-Biomassa através do valor presente, como é o caso deste estudo, é simplesmente analisar se este é positivo, neste caso o projeto é vantajoso [40].

#### 5.5.4) Taxa Interna de Retorno (TIR)

A taxa interna de retorno (TIR) é uma medida bastante utilizada no orçamento de capital, que corresponde a um índice que mede a rentabilidade do investimento por unidade de tempo, necessitando de receita e investimento [42].

Deste modo, é taxa de desconto do fluxo de caixa que torna o valor presente líquido (VPL) igual a zero. Representa o retorno do investimento e deve ser maior que o custo da taxa mínima de atratividade (TMA) para que o projeto seja viável. A fórmula para o cálculo do TIR é dada pela Equação 8.

$$VPL = 0 = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} \quad \text{eq.(8)}$$

Em que:

(i): é a taxa de desconto TIR;

(n): é o período genérico;

FC<sub>j</sub>; é o fluxo de caixa genérico;

### 5.5.5) Perpetuidade

A perpetuidade é o valor da soma dos fluxos futuros de um investimento com vida infinita, trazidos ao último ano do fluxo de caixa projetado. Assim, o método da perpetuidade considera que o fluxo de caixa do período analisado estende-se a uma vida infinita. É calculada através da Equação 9.

$$\text{Perpetuidade} = \frac{FC_{último\ ano}}{i} \quad \text{eq.(9)}$$

Em que:

(i): taxa praticada no mercado financeiro, no estudo em questão será utilizado a TMA;

FC <sub>último ano</sub> : é o fluxo de caixa do último ano, no estudo em questão será o 10º ano.

### 5.5.6) Valor Residual (VR)

O valor residual (VR) é o valor remanescente do negócio em avaliação após o período de projeção explícita.

Nesse sistema híbrido PCH-Biomassa o valor residual, após os 10 anos de fluxo de caixa é calculado com base na perpetuidade, limitado a 30% do VPL do fluxo de caixa, incluída a própria perpetuidade. Assim segue a seguinte condição para o cálculo do valor residual:

- Se Perpetuidade > Valor de Teto (limitado a 30% do VPL) o VR= Valor de Teto.
- Se Perpetuidade < Valor de Teto (limitado a 30% do VPL) o VR= Perpetuidade.
- Se Perpetuidade = Valor de Teto = VR.

### 5.5.7) Payback

O *Payback* é uma ferramenta de grande uso no mundo dos negócios para auxiliar nas tomadas de decisões, decorrente do seu fácil entendimento e aplicabilidade [46].

De acordo com [49], *payback* é o período de tempo necessário para recuperar o capital investido, ou seja, é o período de tempo necessário para que os lucros de um investimento consigam cobrir o capital empregado.

Este método, nas palavras de [47] consiste em apurar o tempo necessário para que um investimento cubra os dispêndios iniciais. Existe um tempo para recuperar o que foi investido e somente depois que o valor dos lucros se equiparem ao investimento inicial é que se pode afirmar que tal empreendimento está tendo retorno.

Neste trabalho utilizou o método do *payback* descontado, o qual mostra o ano em que o investimento volta para o investidor levando em conta o fluxo de caixa livre descontado a uma taxa mínima de atratividade.

### 5.5.8) Tributação

A tributação aplicada no projeto deve seguir a legislação local onde o investimento está sendo analisado e nas circunstâncias apropriadas para cada situação.

Desta maneira, para o sistema híbrido PCH-Biomassa é aplicado uma taxa de imposto de renda (IR) e contribuição social sobre o lucro tributável definida pela área financeira. Esta “taxa efetiva” de imposto reflete, periodicamente, a situação fiscal das empresas em termos de percentual de IR realmente pago em relação ao seu lucro.

### 5.5.9) Depreciação

A depreciação é considerada como o desgaste dos equipamentos ao longo do tempo, ou seja, para cada tipo de investimento deve-se ser feita uma análise aprofundada dos ativos que compõem o investimento em questão.

No sistema híbrido PCH-Biomassa a depreciação estimada pelo autor foi de 2% ao ano linear, para todas as contas do investimento inicial.

Os benefícios de possíveis acelerações do período de depreciação não foram considerados nesse estudo.

## Capítulo 6

# Resultados da Avaliação Econômica do Sistema Híbrido PCH-Biomassa – Um Estudo de Caso.

Neste capítulo, será apresentado um estudo de caso do sistema híbrido PCH-Biomassa, o qual consiste no levantamento de benefícios quantitativos para implantação do sistema e de custos associados à aquisição dos equipamentos, projeto, implantação, montagem, obras civis, treinamento de pessoal e manutenção.

Utilizando o software Microsoft Office Excel 2007 foi desenvolvido um relatório que calcula a viabilidade econômica através das entradas dos ganhos e custos do sistema híbrido. Esse foi planejado com o objetivo de avaliar os ganhos, e os custos do empreendimento. Tal estudo está mostrado no Apêndice A.

### 6.1) Estudo de viabilidade econômica

O estudo de viabilidade econômica tem como objetivo levantar os ganhos e custos relacionados à implantação do projeto, servindo como base para a realização dos cálculos apresentados anteriormente no capítulo 5.

#### 6.1.1) Ganhos econômicos

Os ganhos econômicos para as duas fontes de energia (PCH e Biomassa) foram considerados equivalentes. Assim, as premissas apresentadas a seguir aplicam-se para os dois casos:

- a) Considerou as perdas nos equipamentos e nas cargas desprezíveis;

- b) Considerou que o mês tem 30 dias e o ano 12 meses;
- c) O tempo estimado do consumo diário de energia é de 24 horas;
- d) Devido à pequena extensão das linhas de transmissão, as perdas foram consideradas desprezíveis.
- e) O fator de carga é um índice referente à demanda média e demanda máxima, para esse projeto o fator de carga foi considerado de 95%.
- f) A capacidade de geração do sistema híbrido proposto é de 2.000 kW, isto é, cada fonte tem capacidade gerar 1.000kW.
- g) Considerou uma energia assegurada de 1.700 kW para carga. Os 300 kW restantes são o fator folga do sistema híbrido, assim ocorrendo uma perda de produção em alguma das fontes, como redução de chuvas para a PCH ou escassez temporária de biomassa. Essa folga garante o funcionamento do sistema em regime normal, ou seja, aumentando sua confiabilidade.
- h) Como não se conhece precisamente o perfil de consumo do sistema isolado a ser atendido, utilizou a Equação 10 para o cálculo da potencia instalada.

$$C = PC \times FC \times \Delta t \quad \text{eq.(10)}$$

Em que:

C: Consumo de energia [kWh/ano];

PC: Potência Instalada [kW];

FC: Fator de Carga;

$\Delta t$ : Tempo [h];

- i) Considerou o seguinte preço da energia elétrica R\$ 0,25/kWh [45].

Através das premissas anteriores, calculou-se o ganho de cada fonte de energia elétrica do sistema híbrido PCH-Biomassa, assim possuindo um potencial energético para atingir um ganho financeiro de até R\$ 2.052.000,00 por ano. No entanto, se o sistema híbrido funcionar com as duas fontes em plena carga seu ganho de energia pode chegar até R\$ 4.104.000,00 por ano.

### **6.1.2) Custos do Empreendimento**

Os custos do empreendimento foram estimados separadamente para cada uma das fontes de energia, uma vez que estas apresentam diferentes custos de fornecimento e diferentes necessidades de projeto.

Nos itens a seguir, estão descritas as premissas adotadas para realização das estimativas, as considerações de projeto para o sistema híbrido PCH-Biomassa, ao fim, um comparativo com as estimativas de custo das fontes do sistema híbrido e serviço contemplado.

- a) Considerou o sistema como sendo bifásico com neutro e tensão 254/127 V, e estimou um valor de R\$ 15.000,00 por km para a rede de transmissão [44].
- b) Cada poste de concreto é estimado em R\$ 260,00 [44];
- c) O sistema isolado estudado possui uma rede de transmissão de 3 km;
- d) Alguns custos dos equipamentos da pequena central hidroelétrica foram estimados segundo [46], e estão apresentados na Tabela 8.

**Tabela 8 - Custo dos equipamentos da PCH**

<b>Equipamentos</b>	<b>Preço</b>
Geradores <sup>4</sup>	R\$ 700.000,00
Turbinas Hidráulicas <sup>5</sup>	R\$ 1.500.000,00
Comportas	R\$ 200.000,00
Painel de Comando	R\$ 350.000,00
Transformador	R\$ 65.000,00
Total	R\$ 2.815.000,00
<b>Acréscimo 10%<sup>6</sup></b>	<b>R\$ 3.096.500,00</b>

<sup>4</sup> No projeto serão utilizados dois geradores.

<sup>5</sup> No projeto serão utilizadas duas turbinas hidráulicas.

<sup>6</sup> Custos Adicionais.

e) Alguns custos dos equipamentos da térmica a biomassa foram estimados segundo [45], e estão expostos na Tabela 9.

**Tabela 9 - Custo dos equipamentos da central térmica a biomassa**

<b>Equipamentos</b>	<b>Preço</b>
Geradores <sup>4,7</sup>	R\$ 700.000,00
Turbina a Vapor <sup>7</sup>	R\$ 500.000,00
Turbina a Gás	R\$ 650.000,00
Conjunto Gaseificador, Resfriamento, Limpeza e Secagem e Caldeira <sup>8</sup>	R\$ 700.000,00
Painel de Comando <sup>7</sup>	R\$ 100.000,00
Transformador	R\$ 65.000,00
Total	R\$ 2.715.000,00
<b>Acréscimo de 10%<sup>6</sup></b>	<b>R\$ 2.986.500,00</b>

Assim, os principais custos financeiros do sistema híbrido estão descritos na Tabela 10.

**Tabela 10 - Custo total do empreendimento**

<b>Custos</b>	<b>Pequena Central Hidroelétrica (PCH)</b>	<b>Térmica a Biomassa</b>	<b>Sistema Híbrido PCH-Biomassa</b>
Equipamentos	R\$ 3.096.500,00	R\$ 2.986.500,00	R\$ 6.083.000,00
Projeto Básico e Detalhado <sup>9</sup>	R\$ 250.000,00	R\$ 150.000,00	R\$ 300.000,00
Obras Civis <sup>10</sup> , Materiais e Engenharia	R\$ 1.125.000,00 <sup>11</sup>	R\$ 597.300,00 <sup>12</sup>	R\$ 1.722.300,00
Treinamento <sup>13,9</sup>	R\$ 1.000,00	R\$ 1.000,00	R\$ 1.500,00
<b>Total</b>	<b>R\$ 4.472.500,00</b>	<b>R\$ 3.734.800,00</b>	<b>R\$ 8.106.800,00</b>

<sup>7</sup> Orçamento foi cotado através de uma empresa.

<sup>8</sup> Valor do Conjunto, a cotação foi estimada por uma empresa.

<sup>9</sup> Sugerido pelo autor.

<sup>10</sup> Está incluso linha de transmissão e postes de energia.

<sup>11</sup> Informação de [46].

<sup>12</sup> Dado retirado de [45].

<sup>13</sup> Treinamento em NR-10 e Operação.

## **6.2) Cálculo do estudo de viabilidade econômica**

### **6.2.1) Premissas do cálculo de viabilidade econômica preliminar**

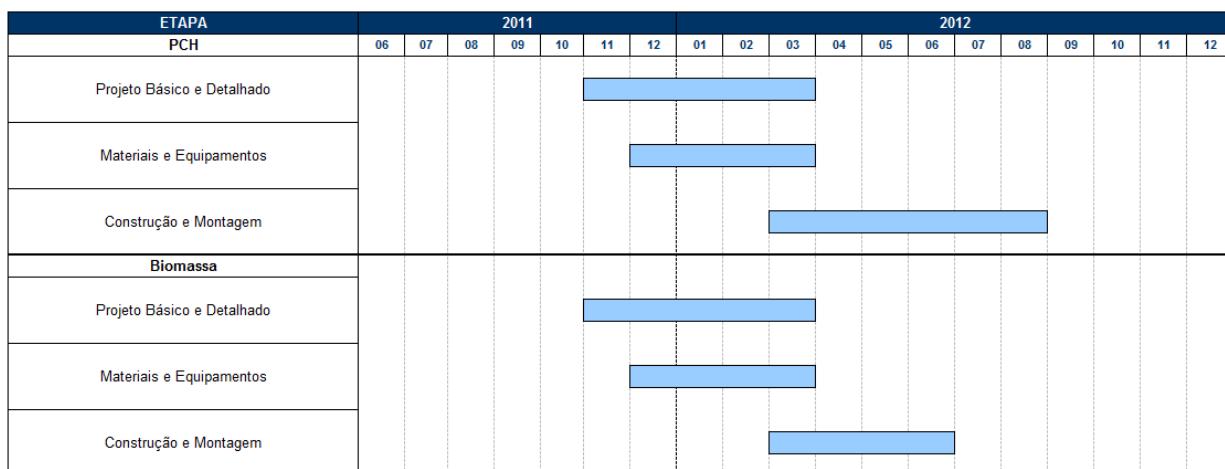
Os índices sugeridos nessas premissas são fictícios, e estimados pelo autor.

- a) A moeda considerada para os cálculos foi o REAL;
- b) O fluxo de caixa do investimento foi avaliado no prazo de 10 anos;
- c) A projeção de percentual estimado de momento considerado foi de, conforme:
  - Fornecimento de equipamentos e materiais: 2% ao ano;
  - Engenharia, construção e montagem: 4% ao ano;
- d) A taxa de contingência considerada foi de 5%, conforme cotação preliminar para efeito de orçamento;
- e) A taxa do custo de manutenção do empreendimento para PCH é de 0,015%;
- f) A taxa do custo de manutenção do empreendimento térmica a biomassa é de 3%. O custo da matéria biomassa está associado a essa taxa;
- g) A taxa de Depreciação linear do investimento considerada foi de 2% ao ano para o prazo de 10 anos.
- h) A taxa do custo do seguro (all in) do empreendimento considerada foi de 0,6%;
- i) A taxa de imposto de renda mais a contribuição sobre o lucro líquido (IR+CSLL) aplicada sobre o lucro bruto anual foi de 28,8%;
- j) A taxa mínima de atratividade (TMA) considerada no cálculo econômico foi de 10,00%.
- k) A perpetuidade, soma dos fluxos futuros do investimento no 10º ano do fluxo de caixa, foi limitada em 30% do Valor Presente Líquido (VPL) do Fluxo de Caixa (incluindo a própria Perpetuidade);

- I) O valor residual (VR) após o prazo de 10 anos foi calculado com base na Perpetuidade;
- m) O cronograma do empreendimento foi elaborado considerando os seguintes prazos:
- Para a PCH foi considerado 4 meses para a realização do projeto básico e detalhado, 4 meses para aquisição e entrega dos materiais e equipamentos e 6 meses para construção, montagem e comissionamento do empreendimento;
  - Na térmica a biomassa, foi considerado 5 meses para a realização do projeto Básico e Detalhado, 4 meses para aquisição e entrega dos materiais e equipamentos, e 4 meses para construção, montagem e comissionamento do empreendimento;
- n) A taxa interna de retorno (TIR) foi calculada para o fluxo de caixa do empreendimento considerando o valor residual (VR);

### **6.2.2) Cronograma do empreendimento**

O cronograma sugerido do empreendimento foi elaborado considerando o item m) das Premissas do cálculo de viabilidade econômica. A Figura 37 ilustra os cronogramas tanto para a PCH quanto para a térmica a Biomassa.



**Figura 37 - Cronograma do empreendimento**

### **6.2.3) Fluxo de Caixa do Empreendimento**

O fluxo de caixa do empreendimento foi calculado baseado nos ganhos econômicos do item 6.1.1, nos custos dos itens 6.1.2. e nas premissas do item 6.2.1. A Tabela 11 apresenta um comparativo entre os fluxos de caixa considerando tanto a PCH e a térmica a Biomassa e por fim o sistema híbrido, o qual é a junção da PCH com a Biomassa. O cálculo do fluxo de caixa apresentado inclui o valor residual (VR) após o prazo de 10 anos. Os valores entre parênteses indicam valores negativos dos fluxos de caixa. Os detalhes dos cálculos podem ser vistos no Apêndice A.

**Tabela 11 - Comparativo dos fluxos de caixa (R\$) dos empreendimentos.**

<b>Ano</b>	<b>Pequena Central Hidroelétrica (PCH)</b>	<b>Térmica a Biomassa</b>	<b>Sistema Híbrido PCH-Biomassa</b>
2011	R\$ (134.662,50)	R\$ (80.797,50)	R\$ (161.595,00)
2012	R\$ (4.035.652,63)	R\$ (3.274.302,06)	R\$ (7.474.129,81)
2013	R\$ 1.371.497,33	R\$ 1.301.163,47	R\$ 2.261.998,96
2014	R\$ 1.371.497,33	R\$ 1.301.163,47	R\$ 2.261.998,96
2015	R\$ 1.371.497,33	R\$ 1.301.163,47	R\$ 2.261.998,96
2016	R\$ 1.371.497,33	R\$ 1.301.163,47	R\$ 2.261.998,96
2017	R\$ 1.371.497,33	R\$ 1.301.163,47	R\$ 2.261.998,96
2018	R\$ 1.371.497,33	R\$ 1.301.163,47	R\$ 2.261.998,96
2019	R\$ 1.371.497,33	R\$ 1.301.163,47	R\$ 2.261.998,96
2020	R\$ 2.592.168,38	R\$ 2.695.357,67	R\$ 3.656.193,16

### **6.2.4) Valor presente líquido do empreendimento**

O valor presente líquido (VPL) do empreendimento foi calculado baseado nos ganhos econômicos do item 6.1.1, nos custos dos itens 6.1.2 e nas premissas do item 6.2.1. A Tabela 12 apresenta um comparativo entre os VPL's considerando a PCH, a térmica a biomassa e por fim o sistema híbrido. O cálculo do VPL apresentado considera o fluxo de caixa com o valor residual (VR) incluído após o prazo de 10 anos. Os valores entre parênteses indicam valores negativos dos VPL's.

**Tabela 12 - Comparativo dos VPL (R\$) dos empreendimentos.**

<b>Ano</b>	<b>Pequena Central Hidroelétrica (PCH)</b>	<b>Térmica a Biomassa</b>	<b>Sistema Híbrido PCH-Biomassa</b>
2011	-	-	-
2012	R\$ (3.803.437,62)	R\$ (3.057.435,74)	R\$ (6.956.258,46)
2013	R\$ (2.669.968,75)	R\$ (1.982.094,02)	R\$ (5.086.837,84)
2014	R\$ (1.639.542,50)	R\$ (1.004.510,65)	R\$ (3.387.364,54)
2015	R\$ (702.791,37)	R\$ (115.798,49)	R\$ (1.842.388,82)
2016	R\$ 148.800,57	R\$ 692.121,65	R\$ (437.865,44)
2017	R\$ 922.975,06	R\$ 1.426.594,51	R\$ 838.974,00
2018	R\$ 1.626.770,05	R\$ 2.094.297,11	R\$ 1.999.737,13
2019	R\$ 2.266.583,68	R\$ 2.701.299,47	R\$ 3.054.976,34
2020	R\$ 3.365.916,12	R\$ 3.844.394,24	R\$ 4.605.559,15

### **6.2.5) Estudo de viabilidade técnica e econômica preliminar**

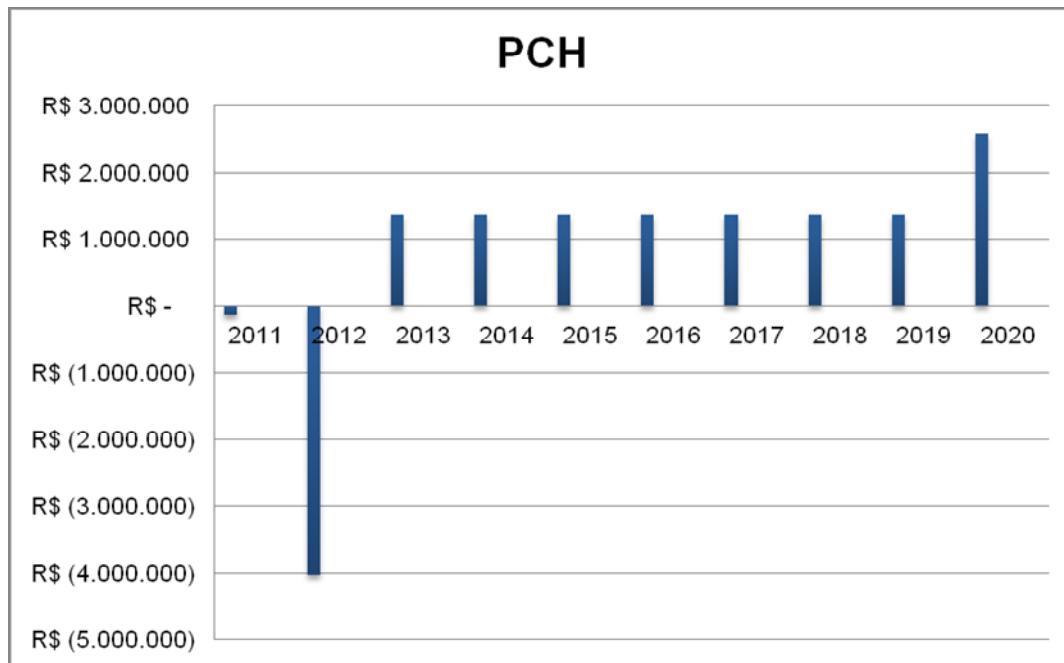
Diante do cenário descrito nas seções anteriores, o estudo de viabilidade técnica e econômica dos empreendimentos é apresentado na Tabela 13.

**Tabela 13 - Estudo de viabilidade técnica e econômica preliminar**

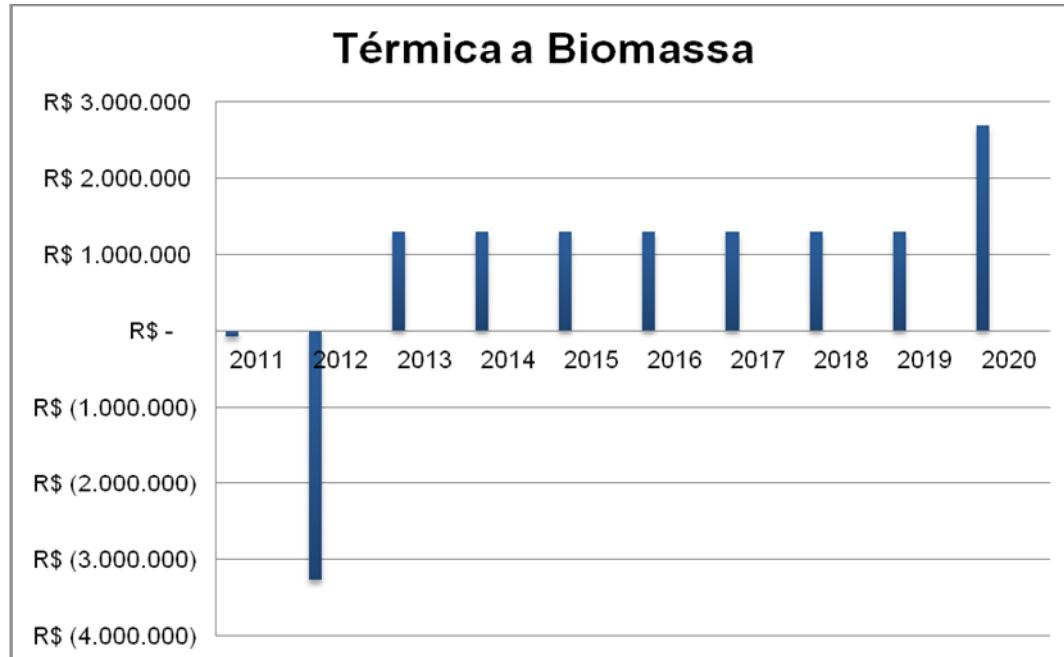
<b>Geração de Energia</b>	<b>TIR</b>	<b>VPL s/ VR</b>	<b>VR</b>	<b>VPL c/ VR</b>	<b>Payback</b>
Pequena Central Hidroelétrica (PCH)	29,55%	R\$ 2.848.232,44	R\$ 1.220.671,04	R\$ 3.365.916,12	5 anos
Térmica a Biomassa	36,50%	R\$ 2.848.232,44	R\$ 1.394.194,20	R\$ 3.844.394,24	5 anos
Sistema Híbrido PCH-Biomassa	25,40%	R\$ 4.014.284,71	R\$ 1.720.407,73	R\$ 4.605.559,15	6 anos

Através dos resultados apresentados na Tabela 13, pode-se concluir que do ponto de vista analítico da taxa interna de retorno, todas as propostas de geração de energia compreendem um empreendimento viável, uma vez que a TIR é maior que a taxa mínima de retorno (TIR > TMA = 10%) e o VPL>0.

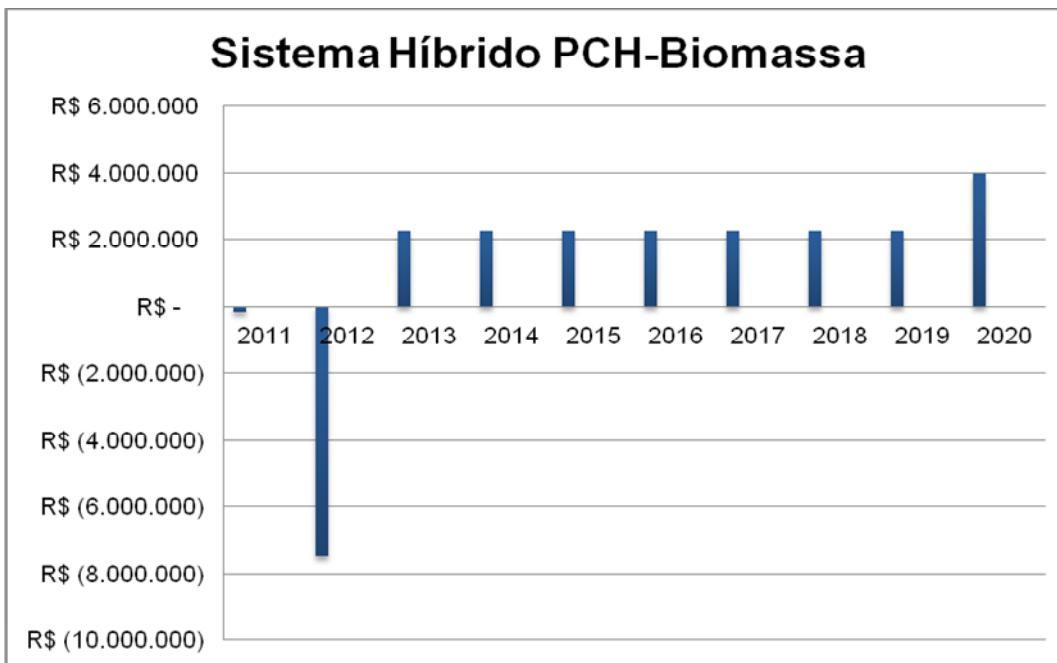
Conforme explicado no item 5.5.1 e com dos dados obtidos no item 6.2.3, as figuras 38, 39 e 40 ilustram o fluxo de caixa considerando o valor residual para todas as fontes em um horizonte de 10 anos. Observa-se que nos dois primeiros anos dos empreendimentos o fluxo de caixa é negativo devido ao investimento inicial e a construção, ao entrar em operação a receita anual torna-se positiva.



**Figura 38 - Fluxo de caixa considerando o VR do estudo de viabilidade preliminar da PCH.**



**Figura 39 - Fluxo de caixa considerando o VR do estudo de viabilidade preliminar da Térmica a Biomassa.**



**Figura 40 - Fluxo de caixa considerando o VR do estudo de viabilidade preliminar do Sistema Híbrido.**

Com base nas tabelas e nas figuras apresentadas, considerando apenas os aspectos referentes aos requisitos econômicos, nota-se que o sistema híbrido isolado é um bom investimento para atender uma demanda de energia elétrica. Outro fator importante é que ambas as fontes apresentaram um ótimo índice de retorno ao investimento.

O *Payback* apresentou ótimos resultados nas três análises, no entanto o sistema híbrido mostrou um retorno financeiro em 6 anos enquanto as fontes individuais obtiveram esse mesmo retorno em 5 anos. Inclusive, é sugerido pelo autor um estudo futuro para avaliar essa diferença.

Assim, o sistema híbrido PCH-Biomassa mostra-se como uma solução viável no abastecimento de energia elétrica em locais isoladas, pois, apresenta uma boa confiabilidade por atuar em complementaridade das fontes e oferecer um retorno desejável ao capital do investido.

## Capítulo 7

# Conclusões

Este trabalho apresentou inicialmente um desenvolvimento a respeito da geração de energia elétrica envolvendo a implementação de duas tecnologias apresentadas que compõem o sistema híbrido. A primeira envolve a geração de energia a base da força hidráulica (pequena central hidroelétrica - PCH), e a segunda baseada na geração térmica (a qual tem como combustível a biomassa).

Posteriormente, foi apresentado o estudo do sistema híbrido PCH-Biomassa para a obtenção dos resultados deste trabalho, envolvendo a avaliação econômica, a qual se pode obter um panorama geral sobre o futuro do investimento, assim diminuindo os riscos e incertezas para os investidores. Ademais, no trabalho foi desenvolvido, a partir do software Microsoft Office Excel, um programa que gera o estudo de viabilidade econômica de empreendimentos energéticos (PCH/Biomassa).

Por fim, foram apresentados os resultados obtidos através de um estudo de caso teórico, considerando ganhos e custos do empreendimento, a partir destes resultados, analisou a viabilidade do empreendimento sugerido.

### 7.1) Considerações sobre as metodologias apresentadas

As análises econômicas dos sistemas de geração de energia estão relacionadas as inúmeras variáveis, desde a disponibilidade do recurso até o custo dos acessórios de instalação do sistema. A partir dessa conjectura é interessante que o investidor disponha de uma ferramenta que possa considerar todas essas variáveis envolvidas no projeto, de forma prática e confiável. Para tal, no presente trabalho desenvolveu-se um programa que gera um relatório ao investidor da avaliação de viabilidade econômica de um sistema híbrido e de cada fonte associada a esse sistema, para verificação se o projeto é viável ou não.

Como existem diversos parâmetros para determinar a viabilidade econômica de um empreendimento, o presente trabalho apresentou os resultados para algumas simulações: viabilidade econômica de uma PCH e Biomassa operando individualmente e por fim, a junção das

duas fontes compõe o sistema híbrido PCH-Biomassa. Entretanto, outras simulações podem ser realizadas, a fim de avaliar economicamente esse sistema.

Conforme os resultados obtidos do estudo de avaliação econômica, é possível concluir que a PHC, Térmica a Biomassa e o sistema híbrido PCH-Biomassa apresentaram resultados satisfatórios, tanto na análise do TIR, quanto ao retorno do investimento. A partir dos resultados obtidos e com base nas considerações apresentadas durante o desenvolvimento do trabalho, pode-se concluir inicialmente que sistemas híbridos isolados para geração de energia elétrica, apesar de apresentarem custos iniciais ainda elevados, podem se caracterizar como alternativas viáveis em determinadas aplicações.

Nos sistemas híbridos isolados é fundamental que a disponibilidade da geração de energia seja adequada à carga, para que o sistema seja dimensionado visando à maior confiabilidade. Dessa forma, evitam-se interrupções no fornecimento de energia. É importante ressaltar que as fontes devem ser instaladas próximas aos recursos necessários para produção de energia elétrica.

Como o Brasil possui uma imensa extensão territorial, as maiores unidades geradoras de energia elétrica atendem os grandes centros consumidores devido a peculiaridades do sistema. Com isso, o sistema híbrido é uma alternativa viável para produção de energia em locais isolados.

De uma forma geral, é viável o investimento do sistema híbrido PCH-Biomassa, pois, possui um bom retorno do capital investido e se enquadra na adoção de políticas de incentivos. Esses fatores contribuem decisivamente para garantir a competitividade e o investimento nesse tipo de geração.

## 7.2) Sugestões para continuidade da pesquisa

Considerando os resultados obtidos neste trabalho, é possível visualizar alguns pontos em que existe a possibilidade de melhorias das metodologias apresentadas e novos horizontes de pesquisa para a continuidade deste trabalho, como:

- a) Elaboração de avaliações econômicas de outras fontes de energia que podem compor os sistemas híbridos, assim possibilitando novas perspectivas em seu investimento e implantação.
- b) Estudo de interligação do sistema híbrido PCH-Biomassa à rede, visando um maior detalhamento econômico em sua operação.
- c) Estudo de otimização e integração das fontes, que considere, além da disponibilidade do recurso, o fator econômico associado a cada fonte, visando a indicação ideal de cada fonte geradora.
- d) A adoção de métodos de predição do consumo, para que obtenha estratégias de operação visando um melhor faturamento do sistema.

## Referências Bibliográficas

- [1] POLIZEL, LUIZ HENRIQUE. (2007). **Metodologia de prospecção e avaliação de pré-viabilidade expedita de geração distribuída (GD): caso eólico e hidráulico.** Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 139p.
- [2] RAFAEL G. B. DE ARAÚJO; OSVALDO L. S. PEREIRA (2006). **Sistema híbrido eólico – fotovoltaico para geração de energia elétrica. Mini – redes como opção de atendimento: flexibilização do arcabouço regulatório vigente.** In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA. Pôster. Disponível em: <[http://www.harpia.eng.br/pesquisa/XICBE\\_Araujo\\_SistemasHibridosEolico-FotovoltaicosSolado.pdf](http://www.harpia.eng.br/pesquisa/XICBE_Araujo_SistemasHibridosEolico-FotovoltaicosSolado.pdf)>. Acesso em 13 ago. 2011.
- [3] FURTADO, GILTON CARLOS DE ANDRADE (2006). **Análise dinâmica, através do método de elementos finitos, de um compensador síncrono de 150 mvar de fabricação alstom.** Dissertação (Tese) - Universidade Federal do Pará Centro Tecnológico Curso de Engenharia Mecânica, 103p.
- [4] CASTRO, MARCO AURÉLIO LENZI (2004). **Análise dos Riscos de uma Distribuidora Associados à Compra e Venda de Energia no Novo Modelo do Setor Elétrico.** Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Elétrica, Brasília, 136p.
- [5] ANEEL (2008). **Atlas de energia elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica.** 3 ed. – Brasília: Aneel.
- [6] BRASIL (1996), Lei nº 9.427/96. Diário Oficial, 26 de dezembro de 1996. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/blei19969427.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2011.

- [7] CCEE (2011). Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. Informações sobre as mudanças no setor elétrico brasileiro. Disponível em: <<http://www.ccee.org.br>>. Acesso em: 15 ago. 2011.
- [8] R. Leão (2009). **“GTD – Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica”**. Universidade Federal do Ceará, 2009. 47p.
- [9] IEA – International Energy Agency – Key Staistics. Disponível em: <<http://www.iea.org>>. Acesso em: 18 ago de 2011.
- [10] EPE – Empresa de Pesquisa Energética (2011). Balanço Energético Nacional Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br>>. Acesso em: 18 ago de 2011.
- [11] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (2011). Banco de Informações de Geração (BIG) – Capacidade de Geração do Brasil. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 18 ago de 2011.
- [12] EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Informações e estatísticas. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 20 ago de 2011.
- [13] ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (1998). Resolução nº. 395, de 04 de Dezembro de 1998. “Estabelece os procedimentos gerais para Registro e Aprovação de Estudos de Viabilidade e Projeto Básico de empreendimentos de geração hidrelétrica, assim como da Autorização para Exploração de Centrais Hidrelétricas até 30 MW e dá outras providências”. Brasília (DF). Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/RES1998395.PDF>>. Acesso em: 20 ago de 2011.
- [14] ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (2003). Resolução nº. 652, de 09 de Dezembro de 2003. “Estabelece os critérios para o enquadramento de aproveitamento hidrelétrico na condição de Pequena Central Hidrelétrica (PCH)”. Brasília (DF). Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2003652.pdf>>. Acesso em: 20 ago de 2011.

- [15] ELETROBRÁS – CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. (2000). **Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas**. Rio de Janeiro (RJ), 199p. Disponível em: <[www.eletrobras.com.br](http://www.eletrobras.com.br)>. Acesso em: 21 ago de 2011.
- [16] Camila Rocha Galhardo. (2007). **O Licenciamento Ambiental de PCH e a Comunicação Social: Análise dos estudos de caso de Funil e Carangola**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 145p.
- [17] MULLER (1995), I.; Estudo de Viabilidade Avançados para Pequenas Centrais Hidrelétricas.
- [18] Santos, Silvana. (2003). **Aplicação do Project Finance para Alavancagem de Empreendimentos Hidrelétricos de Pequeno Porte**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 152p.
- [19] SOUZA, Zulcy de; FUCHS, R.D.; SANTOS, A H.M (1983). **Centrais Hidro e Termelétricas**, São Paulo.
- [20] CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. (ELETROBRÁS). **Manual de Microcentrais Hidrelétricas**. Rio de Janeiro (RJ), 345p. Disponível em: <[www.eletrobras.com.br](http://www.eletrobras.com.br)>. Acesso em: 13 set de 2011.
- [21] Nogueira, Fábio José Horta; Tiago Filho, Geraldo Lúcio (2007). **Microcentrais hidrelétricas**. Itajubá, Minas Gerais: FAPEPE, 32p.
- [22] BRASIL (1998). Lei nº 9.648/98. Diário Oficial, 27 de maio de 1998.
- [23] BRASIL (1996). Decreto nº 2.003/96. Diário Oficial, 10 de setembro de 1996.
- [24] BRASIL (1999). Resolução ANEEL nº 245/99. Diário Oficial, 11 de Agosto de 1999.
- [25] BRASIL (2001). Resolução ANEEL nº 22/01. Diário Oficial, 01 de fevereiro de 2001.
- [26] BRASIL (2002). Lei nº 10.438. Diário Oficial, de 26 de abril de 2002.

- [27] FERREIRA, DIEGO ROCHA BESSA (2009). **Análise de viabilidade técnica e econômica para implementação de PCHs.** Trabalho de Conclusão de Curso - Departamento de Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 101p.
- [28] Fuchs, Rubens Dario (1977). **Transmissão de energia elétrica: linhas áreas; teoria das linhas em regime permanente**, Rio de Janeiro, Editora Livros Técnicos e Científicos; Itajubá, Escola Federal de Engenharia.
- [29] CARNEIRO, ADRIANO ALBER DE FRANÇA MENDES (2009). **Geração de Energia Elétrica.** São Carlos: SEL/EESC/USP. Apostila. Disponível em: <<http://www.sel.eesc.usp.br>>.
- [30] LUCCI, Elian Alabi (1997). **O homem no espaço global.** São Paulo: Saraiva.
- [31] MARTINS, LYDIMILLA SANTOS. (2006). **Geração de Energia Através de Biomassa.** Dissertação (Tese) - Departamento de Engenharia de Energia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 83 p.
- [32] COSTA, F. F.; LIMA, M. T. (1997). **Avaliação do Potencial de uso do Gás Natural na Região do Médio Paranapanema**, Relatório Final.
- [33] 1° SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DA ENERGIA ELÉTRICA, (1972), São Paulo. Anais. 2v.
- [34] BIZZO, W.A. (2003). Geradores de Vapor, UNICAMP, 2003. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~em672/>>. Acesso em: 20 set de 2011.
- [35] RINO, GUILHERME (2008). **Tecnologias de turbinas a vapor aplicadas a processo (TGM).** Apresentação realizada no 5° Congresso Brasileiro de Eficiência Energética e Cogeração de Energia da ABESCO em 12/06/2008. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/5eficienciaenergetica/>>. Acesso em: 20 set. 2011.

- [36] RODRIGUES, MARCOS LUIZ DE MACEDO (2009). **Estudo técnico-econômico da implantação da cogeração em pequena escala a biomassa em uma indústria.** Dissertação (Tese) Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais Belo Horizonte, 184p.
- [37] BLASQUES, LUIS CARLOS MACEDO (2005). **Estudo da Viabilidade Técnico-Econômica de Sistemas Híbridos para Geração de Eletricidade.** Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Pará Centro Tecnológico, Belém. 215p.
- [38] PROINFA – Empresa Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (2011). Disponível em <http://www.mme.gov.br/programas/proinfa>. Acesso em: 01 outubro de 2011.
- [39] A .A. Groppelli & Ehsan Nikbakht (2002), **Administração Financeira.** 2º Edição. 496p.
- [40] TAHA, PATRÍCIA (1996). **Estudo de Viabilidade Técnico-econômica da Produção de Surimi.** Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996. 104p.
- [41] FLEISCHER, Gerald A (1973). Teoria da Aplicação do Capital, São Paulo: Editora Edgard Blucher.
- [42] FÉLIX, ULISSES OTAVIO FREIRE (2005). Implantação de Pomar de Manga (*Mangifera indica*) destinado ao Comércio in Natura. Platina, Distrito Federal. 9p.
- [43] A. Souza e A. Clemente (2004), “**Decisões Financeiras e Análise de Investimentos – Fundamentos, Técnicas e Aplicações**”, 5a Ed., Editora Atlas.

- [44] RODRIGUES, ALEXIA DE FREITAS (2006). **Análise da Viabilidade de Alternativas de Suprimento Descentralizado de Energia Elétrica a Comunidades Rurais de Baixa Renda com Base em seu Perfil de Demanda.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 156 p.
- [45] CRISTINA APARECIDA VILAS BÔAS DE SALES (2007). **Avaliação Técnico Econômica da Conversão da Biomassa em Eletricidade Utilizando Tecnologias de Gaseificação.** Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 188p.
- [46] GUILHERME EICK (2010). **Viabilidade Econômica e Financeira de uma Pequena Central Hidrelétrica no Brasil.** Dissertação (Tese) - Universidade Federal de Santa Catarina Centro Sócio Econômico Departamento de Ciências Econômicas, Florianópolis. 70 p.
- [47] SENAC (2004). **Básico de Contabilidade e Finanças.** Rio de Janeiro: SENAC.
- [48] MME (2011). Ministério de Minas e Energia. Informações sobre entidades vinculadas. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em: 26 nov. 2011.
- [49] GITMAN, L. J. **Princípios de Administração Financeira** (2002). 8<sup>a</sup> edição. São Paulo: Harbra.
- [50] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (2011). Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 15 ago de 2011.
- [51] Paulo Duailibe (1999). Consultoria para Uso Eficiente de Energia. Universidade Federal do Fluminense. Disponível em: <http://www.uff.br/lev/downloads/apostilas/SE.pdf>. Acesso em: 26 nov de 2011.
- [52] CERPCH – Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidroelétricas (2011). Disponível em: [http://www.cerpch.unifei.edu.br/sub\\_elevadora.php](http://www.cerpch.unifei.edu.br/sub_elevadora.php). Acesso em: 26 nov de 2011.

- [53] Guia do Engenheiro de Petróleo. Disponível em: <http://www.engenheirodepetroleo.com.br/provas-resolvidas/engenheiro-de-petroleo/cespe-2004-engenheiro-de-petroleo-q106-e-q107>. Acesso em: 26 nov de 2011.
- [54] Brasil Biomassa e Energia Renovável- International CMO Business Exports Biomass Matriz Brasil. Disponível em: <http://www.internationalrenewablesenergy.com>. Acesso em: 26 set de 2011.
- [55] THAIS AYA HASSAN INATOMI; MIGUEL EDGAR MORALES UDAETA (2007). **Análise dos Impactos Ambientais na Produção de Energia dentro do Planejamento Integrado de Recursos.** . Disponível em: [http://espacosustentavel.com/pdf/INATOMI\\_TAHY\\_IMPACTOS\\_AMBIENTAIS.pdf](http://espacosustentavel.com/pdf/INATOMI_TAHY_IMPACTOS_AMBIENTAIS.pdf). Acesso em: 27 nov de 2011.

## Apêndice A

# Software de Avaliação Econômica

Neste apêndice, é apresentado o programa desenvolvido no software Microsoft Office Excel 2007, o qual calcula a viabilidade econômica do sistema híbrido através dos parâmetros de entrada. Ele gera os resultados em forma de um relatório, ou seja, elabora um documento para o investidor com todas as informações necessárias do empreendimento. Esse documento gerado é muito utilizado por empresas de projetos em engenharia.

		<b>Estudo de Viabilidade Econômica</b>			N° EMPRESA <b>Corporation Polizeli</b>		REV. <b>A</b>										
CÓDIGO DE PROJETO (PJ) -			N° EMPRESA PROJETISTA <b>5794493</b>			FOLHA <b>74 de 86</b>											
		CENTRO LOGÍSTICO -		PLANTA -		ÁREA -											
TÍTULO DO PROJETO <b>Apêndice A - Cálculo do Estudo de Viabilidade Econômica</b>																	
<b>ÍNDICE DE REVISÕES</b>																	
0 A	EMISSÃO ORIGINAL REVISÃO GERAL																
<b>PROJETO BÁSICO</b>																	
	REV. 0	REV. A	REV. B	REV. C	REV. D	REV. E	REV. F	REV. G	REV. H								
DATA	07/09/2011																
PROJETO	Corp. Polizeli																
EXECUÇÃO	MVP																
VERIFICAÇÃO	MVP																
APROVAÇÃO	MVP																

	<b>Estudo de Viabilidade Econômica</b>		N° EMPRESA <b>Corporation Polizeli</b>	REV. <b>A</b>
	CÓDIGO DE PROJETO (PJ) <b>-</b>	N° EMPRESA PROJETISTA <b>5794493</b>	FOLHA <b>75 de 86</b>	
	<b>CENTRO LOGÍSTICO</b> <b>-</b>	<b>PLANTA</b> <b>-</b>	<b>AREA</b> <b>-</b>	
	<b>TÍTULO DO PROJETO</b> <b>Apêndice A - Cálculo do Estudo de Viabilidade Econômica</b>			

## 1- CÁLCULOS DO GANHO ENERGÉTICO

### 1.1 - Premissas do Cálculo do Ganho Energético

Abaixo são listadas as premissas que foram consideradas:

- a) Tempo estimado de consumo diário de energia é de: 24 horas;
- b) Foi considerado que o mês tem: 30 dias;
- c) A demanda de consumo aproximada é de: 1700 kW;
- d) A demanda máxima atendida é de 2000 kW;
- e) Potência máxima gerada pela PCH: 1000 kW
- f) Potência máxima gerada pela Térmica a Biomassa: 1000 kW
- g) Devido à pequena extensão das linhas de transmissão, as perdas foram consideradas desprezíveis;
- h) O fator de carga é de 95% ;
- i) A capacidade de geração do sistema híbrido proposto é de 2.000 kW, isto é, cada fonte tem capacidade de 1.000kW;



### 1.2 - Cálculos

1.2.1 - Neste item serão calculados o consumo de energia.

a) O consumo de energia do sistema híbrido (PCH+Biomassa)

Tabela 1-1 - Consumo de Energia do Sistema Híbrido

<b>Sistema híbrido</b>	
Energia total (MWh/ano)	13.953,60

b) Consumo de energia de cada fonte separada do sistema híbrido.

Tabela 1-2 - Consumo de Energia da PCH

<b>PCH 1</b>	
Energia total (MWh/ano)	8.208,00

Tabela 1-3 - Consumo de Energia da Biomassa

<b>Termoelétrica a Biomassa<sup>1</sup></b>	
Energia total (MWh/ano)	8.208,00

### 1.3 - Custos do Empreendimento.

a) Custos dos Equipamentos da PCH.

Tabela 1-4 - Custo de Equipamentos da PCH

<b>PCH</b>	
Item	Preço
Geradores	R\$ 700.000,00
Turbinas Hidráulicas	R\$ 1.500.000,00
Comportas	R\$ 200.000,00
Painel de Comando	R\$ 350.000,00
Transformador	R\$ 65.000,00
<b>Total</b>	<b>R\$ 2.815.000,00</b>
Acréscimo de 10%	R\$ 3.096.500,00

b) Custos dos Equipamentos da Biomassa

Tabela 1-5 - Custo de Equipamentos da Biomassa

<b>Biomassa</b>	
Item	Preço
Geradores	R\$ 700.000,00
Turbina à Vapor	R\$ 500.000,00
Turbina a Gás	R\$ 650.000,00
Gaseificador, Resfriamento, Limpeza e Secagem e Caldeira	R\$ 700.000,00
Painel de Comando	R\$ 100.000,00
Transformador	R\$ 65.000,00
<b>Total</b>	<b>R\$ 2.715.000,00</b>
Acréscimo de 10%	R\$ 2.986.500,00

c) Custo total do Empreendimento

Tabela 1-6 - Custo total do Empreendimento

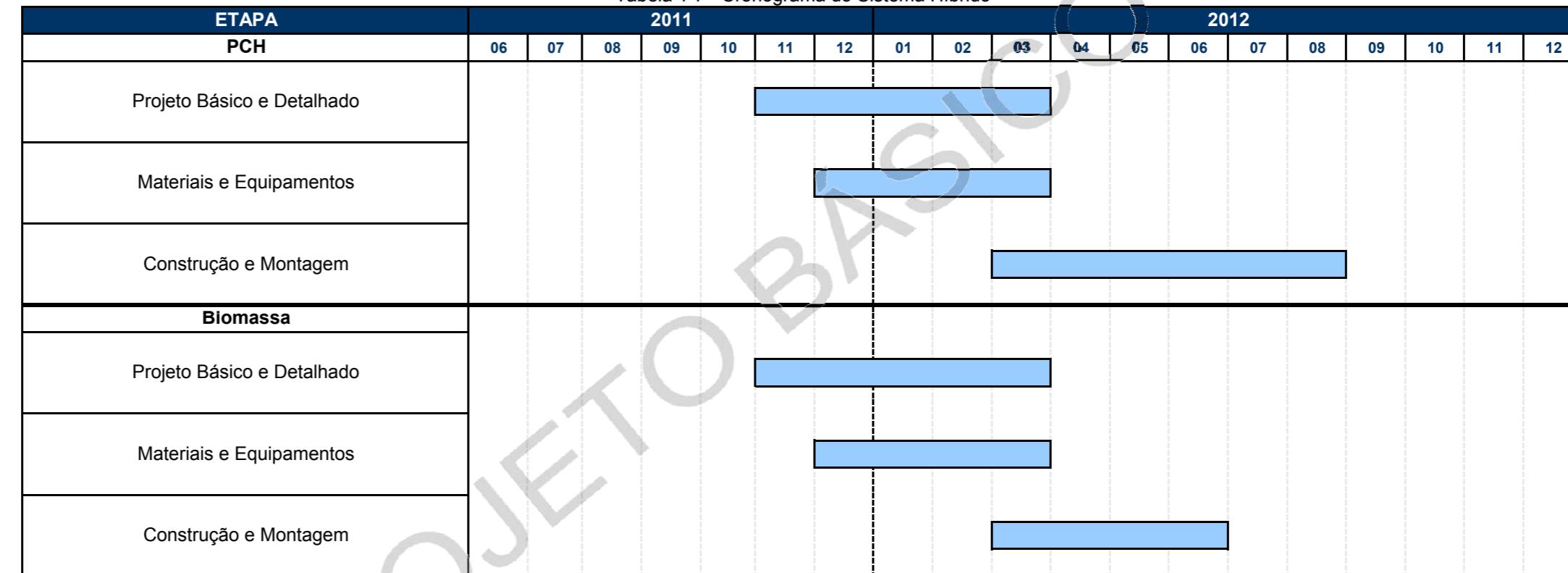
Custos	PCH	Biomassa	Sistema Híbrido PCH-Biomassa
Equipamento	R\$ 3.096.500,00	R\$ 2.986.500,00	6.083.000,00
Projeto Básico e Detalhado	R\$ 250.000,00	R\$ 150.000,00	R\$ 300.000,00
Obras Civis, Materiais e Engenharia	R\$ 1.125.000,00	R\$ 597.300,00	R\$ 1.722.300,00
Treinamento	R\$ 1.000,00	R\$ 1.000,00	R\$ 1.500,00
<b>Total</b>	<b>R\$ 4.472.500,00</b>	<b>R\$ 3.734.800,00</b>	<b>R\$ 8.106.800,00</b>



#### 1.4 Cronograma do Empreendimento

a) Cronograma das etapas do sistema híbrido.

Tabela 1-7 - Cronograma do Sistema Híbrido



PROJETO BÁSICO

**Estudo de Viabilidade Econômica**

Nº EMPRESA

**Corporation Polizeli**

REV.

**A**

CÓDIGO DE PROJETO (PJ)

Nº EMPRESA PROJETISTA

FOLHA

**5794493****78 de 86**

CENTRO LOGÍSTICO

PLANTA

ÁREA

TÍTULO DO PROJETO

**Apêndice A - Cálculo do Estudo de Viabilidade Econômica****2 - CÁLCULO DE VIABILIDADE ECONÔMICA****2.1 - Premissas do Cálculo de Viabilidade Econômica**

Abaixo são listadas as premissas que foram consideradas no cálculo do Estudo de Viabilidade Econômica:

- a) A moeda base considerada foi o REAL;
- b) O fluxo de caixa do investimento foi avaliado no prazo de 10 anos;
- c) A projeção de percentual estimado de momento considerado foi de, conforme  
 Fornecimento de Equipamentos e Materiais: 2% ao ano;  
 Engenharia, Construção e Montagem: 4% ao ano.
- d) A taxa de contingência considerada foi de 5% conforme percentual definido em projetos de energia para cotação preliminar para efeito de orçamento;
- e) A taxa do custo de manutenção do empreendimento para PCH é de 0,015% ;
- f) A taxa do custo de manutenção do empreendimento térmica a biomassa é de 3% ;
- g) A taxa do custo do Seguro (al. in) do empreendimento considerada foi de 0,60% ;
- h) A taxa de depreciação linear do investimento considerada foi de 2% ao ano para o prazo de 10 anos;
- i) A taxa de Imposto de Renda mais a Contribuição Sobre o Lucro Líquido (IR+CSLL) aplicada sobre o lucro bruto anual foi de 28,80% ;
- j) A Perpetuidade, soma dos Fluxos Futuros do investimento no 10º ano do fluxo de caixa, foi limitada em 30% do Valor Presente Líquido (VPL) do Fluxo de Caixa (incluindo a própria Perpetuidade);
- k) O Valor Residual (VR) após o prazo de 10 anos foi calculado com base na Perpetuidade;
- l) Foi considerado o seguinte custo da energia elétrica:  
 $1\text{kWh} = \text{R\$ 0,25}$  ;

	<b>Estudo de Viabilidade Econômica</b>		N° EMPRESA <b>Corporation Polizeli</b>	REV. <b>A</b>
	CÓDIGO DE PROJETO (PJ) - - -	N° EMPRESA PROJETISTA <b>5794493</b>	FOLHA <b>79 de 86</b>	
	<b>CENTRO LOGÍSTICO</b> - - -	<b>PLANTA</b> - - -	<b>ÁREA</b> - - -	
	<b>TÍTULO DO PROJETO</b> <b>Apêndice A - Cálculo do Estudo de Viabilidade Econômica</b>			

## 2.2 - Ganhos Econômicos

### 11.2.1 - Ganho ao Consumo de Energia

a) Considerando os valores do kWh e apresentados nas premissas, obtém-se o seguinte ganho financeiro anual.

Tabela 2-1 - Ganho Financeiro anual do Sistema Híbrido

<b>Geração</b>	<b>Energia Elétrica</b>
Sistema Híbrido <sup>2</sup>	R\$ 3.488.400,00

b) Ganho financeiro por fonte de energia.

Tabela 2-2 - Ganho Financeiro anual só operando com PCH

<b>Geração</b>	<b>Energia Elétrica</b>
PCH <sup>3</sup>	R\$ 2.052.000,00

Tabela 2-3 -Ganho Financeiro anual operando com Biomassa

<b>Geração</b>	<b>Energia Elétrica</b>
Térmica à Biomassa <sup>3</sup>	R\$ 2.052.000,00

Nota 2: Considerou o funcionamento para atender a demanda de 1700 kW.

Nota 3: Considerou o funcionamento com a máxima potência gerada, ou seja, 1000 kW.



CENTRO LOGÍSTICO

## PLANTA

ÁREA

## TÍTULO DO PROJETO

Apêndice A - Cálculo do Estudo de Viabilidade Econômica

## 2.3 Fluxo de Caixa



CENTRO LOGÍSTICO

## PLANTA

ÁREA

## TÍTULO DO PROJETO

Apêndice A - Cálculo do Estudo de Viabilidade Econômica

## 2.3 Fluxo de Caixa



## 2.3 Fluxo de Caixa

**Estudo de Viabilidade Econômica**

Nº EMPRESA

**Corporation Polizeli**

REV.

**A**

CÓDIGO DE PROJETO (PJ)

Nº EMPRESA PROJETISTA

**5794493**

FOLHA

**83 de 86**

CENTRO LOGÍSTICO

PLANTA

ÁREA

TÍTULO DO PROJETO

**Apêndice A - Cálculo do Estudo de Viabilidade Econômica****2.4 Estudo de Viabilidade Financeira**

2.4.1 PCH	-	Ano									
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<b>Fluxo de Caixa</b>	R\$	(134.662,50)	R\$ (4.035.652,63)	R\$ 1.371.497,33	R\$ 1.371.497,33	R\$ 1.371.497,33	R\$ 1.371.497,33	R\$ 1.371.497,33	R\$ 1.371.497,33	R\$ 1.371.497,33	R\$ 1.371.497,33
VPL (sem VR)	-	-	R\$ (3.803.437,62)	R\$ (2.669.968,75)	R\$ (1.639.542,50)	R\$ (702.791,37)	R\$ 148.800,57	R\$ 922.975,06	R\$ 1.626.770,05	R\$ 2.266.583,68	R\$ 2.848.232,44
Fluxo de Caixa (com VR)	R\$	(134.662,50)	R\$ (4.035.652,63)	R\$ 1.371.497,33	R\$ 1.371.497,33	R\$ 1.371.497,33	R\$ 1.371.497,33	R\$ 1.371.497,33	R\$ 1.371.497,33	R\$ 1.371.497,33	R\$ 2.592.168,38
VPL (com VR)	-	-	R\$ (3.803.437,62)	R\$ (2.669.968,75)	R\$ (1.639.542,50)	R\$ (702.791,37)	R\$ 148.800,57	R\$ 922.975,06	R\$ 1.626.770,05	R\$ 2.266.583,68	R\$ 3.365.916,12

**2.4.2 Térmica à Biomassa**

<b>Fluxo de Caixa</b>	R\$	(80.797,50)	R\$ (3.274.302,06)	R\$ 1.301.163,47	R\$ 1.301.163,47	R\$ 1.301.163,47	R\$ 1.301.163,47	R\$ 1.301.163,47	R\$ 1.301.163,47	R\$ 1.301.163,47	R\$ 1.301.163,47
VPL (sem VR)	-	-	R\$ (3.057.435,74)	R\$ (1.982.094,02)	R\$ (1.004.510,65)	R\$ (115.798,49)	R\$ 692.121,65	R\$ 1.426.594,51	R\$ 2.094.297,11	R\$ 2.701.299,47	R\$ 3.253.119,80
Fluxo de Caixa (com VR)	R\$	(80.797,50)	R\$ (3.274.302,06)	R\$ 1.301.163,47	R\$ 1.301.163,47	R\$ 1.301.163,47	R\$ 1.301.163,47	R\$ 1.301.163,47	R\$ 1.301.163,47	R\$ 1.301.163,47	R\$ 2.695.357,67
VPL (com VR)	-	-	R\$ (3.057.435,74)	R\$ (1.982.094,02)	R\$ (1.004.510,65)	R\$ (115.798,49)	R\$ 692.121,65	R\$ 1.426.594,51	R\$ 2.094.297,11	R\$ 2.701.299,47	R\$ 3.844.394,24

**2.4.3 Sistema Híbrido PCH-Biomassa**

<b>Fluxo de Caixa</b>	R\$	(161.595,00)	R\$ (7.474.129,81)	R\$ 2.261.998,96	R\$ 2.261.998,96	R\$ 2.261.998,96	R\$ 2.261.998,96	R\$ 2.261.998,96	R\$ 2.261.998,96	R\$ 2.261.998,96	R\$ 2.261.998,96
VPL (sem VR)	-	-	R\$ (6.956.258,46)	R\$ (5.086.837,84)	R\$ (3.387.364,54)	R\$ (1.842.388,82)	R\$ (437.865,44)	R\$ 838.974,00	R\$ 1.999.737,13	R\$ 3.054.976,34	R\$ 4.014.284,71
Fluxo de Caixa (com VR)	R\$	(161.595,00)	R\$ (7.474.129,81)	R\$ 2.261.998,96	R\$ 2.261.998,96	R\$ 2.261.998,96	R\$ 2.261.998,96	R\$ 2.261.998,96	R\$ 2.261.998,96	R\$ 2.261.998,96	R\$ 3.656.193,16
VPL (com VR)	-	-	R\$ (6.956.258,46)	R\$ (5.086.837,84)	R\$ (3.387.364,54)	R\$ (1.842.388,82)	R\$ (437.865,44)	R\$ 838.974,00	R\$ 1.999.737,13	R\$ 3.054.976,34	R\$ 4.605.559,15

Tabela 2-3 -Estudo Preliminar de Viabilidade Econômica

EPVE <sup>4</sup>	PCH	Biomassa	Sist. Híbrido
VPL (R\$) SEM VR:	R\$ 2.848.232,44	R\$ 3.253.119,80	R\$ 3.253.119,80
Teto Taxa Residual	30%	30%	30%
Valor Teto (limitado a 30%)	R\$ 1.220.671,04	R\$ 1.394.194,20	R\$ 1.394.194,20
Perpetuidade	R\$ 13.714.973,34	R\$ 13.011.634,72	R\$ 22.619.989,55
Valor Residual (VR)	R\$ 1.220.671,04	R\$ 1.394.194,20	R\$ 1.394.194,20
VPL COM VR	R\$ 3.365.916,12	R\$ 3.844.394,24	R\$ 4.605.559,15
<b>TIR</b>	<b>29,55%</b>	<b>36,50%</b>	<b>25,40%</b>

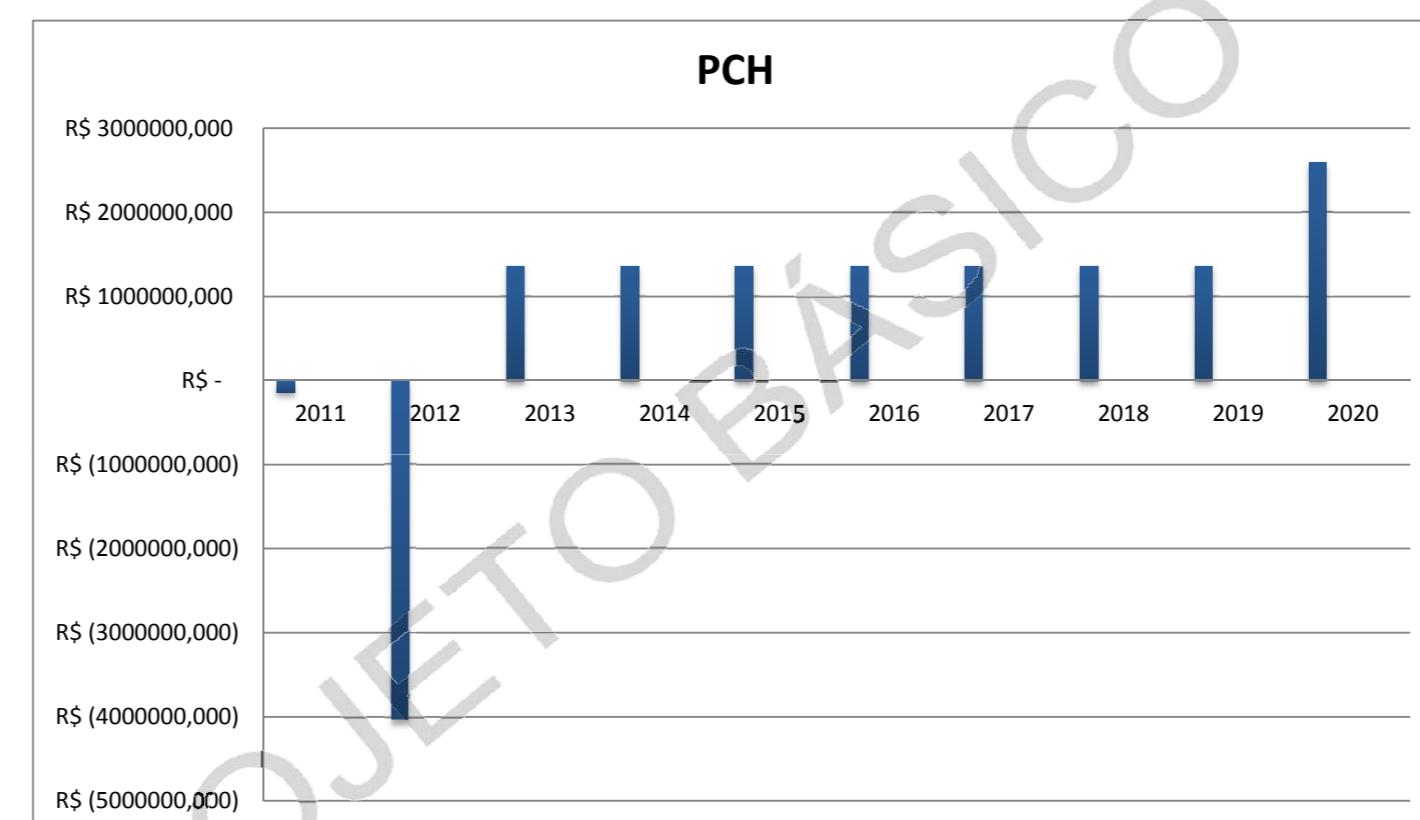


## 2.5 Estudo de Viabilidade Financeira

### 2.5.1. Estudo de viabilidade da PCH

TIR **29,55%**VPL **R\$ 3.365.916,12**

Ano	Fluxo de Caixa c/ (VR)	VPL c/ (VR)
2011	R\$ (134.662,50)	-
2012	R\$ (4.035.652,63)	R\$ (3.803.437,62)
2013	R\$ 1.371.497,33	R\$ (2.669.968,75)
2014	R\$ 1.371.497,33	R\$ (1.639.542,50)
2015	R\$ 1.371.497,33	R\$ (702.791,37)
2016	R\$ 1.371.497,33	R\$ 148.800,57
2017	R\$ 1.371.497,33	R\$ 922.975,06
2018	R\$ 1.371.497,33	R\$ 1.626.770,05
2019	R\$ 1.371.497,33	R\$ 2.266.583,68
2020	R\$ 2.592.168,38	R\$ 3.365.916,12





## 2.5 Estudo de Viabilidade Financeira

### 2.5.2. Estudo de viabilidade da Térmica a Biomassa

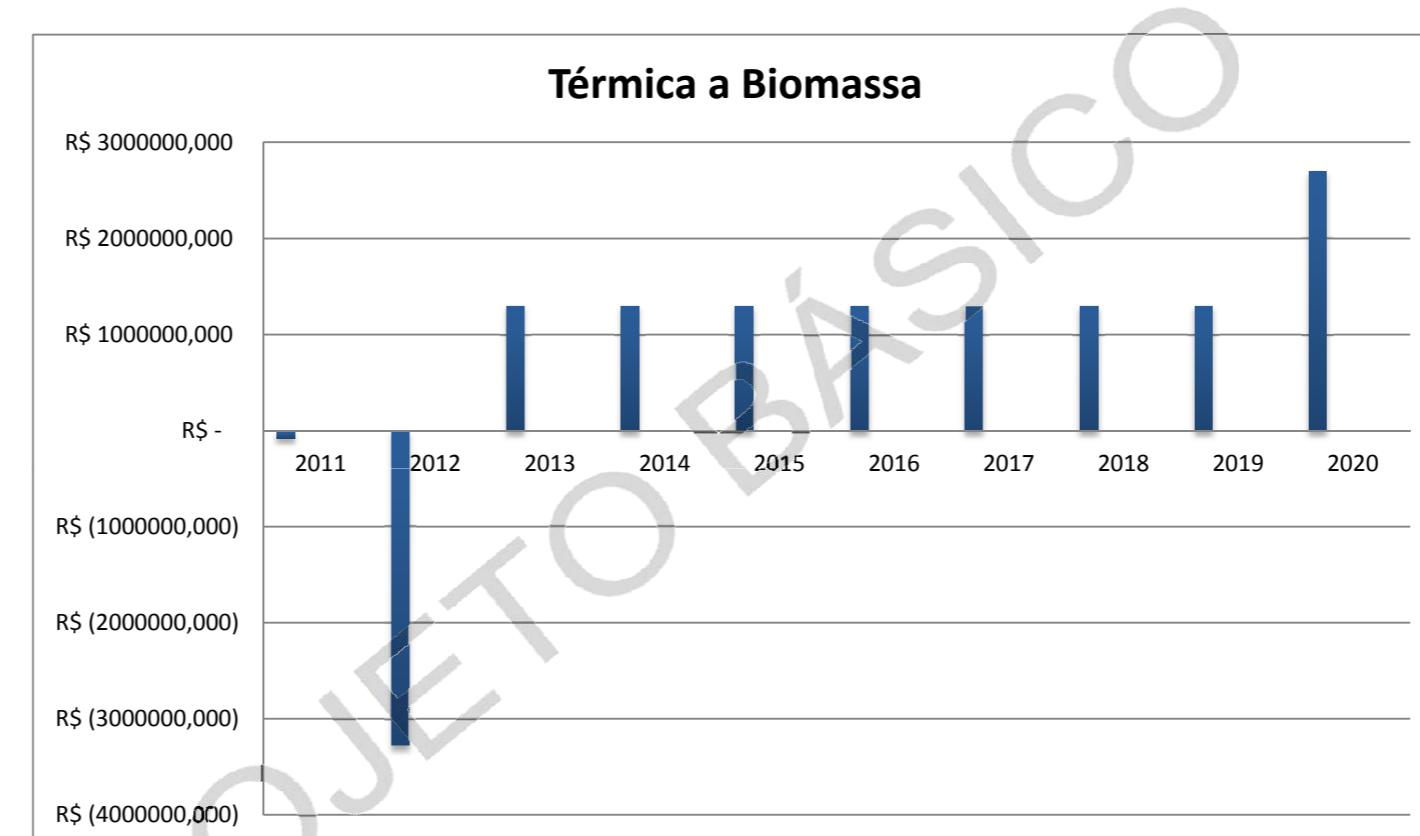
TIR

36,50%

VPL

R\$ 3.844.394,24

Ano	Fluxo de Caixa c/ (VR)	VPL c/ (VR)
2011	R\$ (80.797,50)	-
2012	R\$ (3.274.302,06)	R\$ (3.057.435,74)
2013	R\$ 1.301.163,47	R\$ (1.982.094,02)
2014	R\$ 1.301.163,47	R\$ (1.004.510,65)
2015	R\$ 1.301.163,47	R\$ (115.798,49)
2016	R\$ 1.301.163,47	R\$ 692.121,65
2017	R\$ 1.301.163,47	R\$ 1.426.594,51
2018	R\$ 1.301.163,47	R\$ 2.094.297,11
2019	R\$ 1.301.163,47	R\$ 2.701.299,47
2020	R\$ 2.695.357,67	R\$ 3.844.394,24





## 2.5 Estudo de Viabilidade Financeira

### 2.5.3. Estudo de viabilidade do Sistema Híbrido PCH-Biomassa

TIR **25,40%** VPL **R\$ 4.605.559,15**

Ano	Fluxo de Caixa c/ (VR)	VPL c/ (VR)
2011	R\$ (161.595,00)	-
2012	R\$ (7.474.129,81)	R\$ (6.956.258,46)
2013	R\$ 2.261.998,96	R\$ (5.086.837,84)
2014	R\$ 2.261.998,96	R\$ (3.387.364,54)
2015	R\$ 2.261.998,96	R\$ (1.842.388,82)
2016	R\$ 2.261.998,96	R\$ (437.865,44)
2017	R\$ 2.261.998,96	R\$ 838.974,00
2018	R\$ 2.261.998,96	R\$ 1.999.737,13
2019	R\$ 2.261.998,96	R\$ 3.054.976,34
2020	R\$ 3.656.193,16	R\$ 4.605.559,15

