

Universidade Federal de Juiz de Fora  
Faculdade de Engenharia  
Graduação em Engenharia Elétrica

**Mariana de Oliveira Novais Teixeira**

**Estudo de Viabilidade de um Pequeno Aproveitamento Hidráulico**

Juiz de Fora

2019

**Mariana de Oliveira Novais Teixeira**

**Estudo de Viabilidade de um Pequeno Aproveitamento Hidráulico**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Juiz de Fora, na área de concentração em Sistema de Energia, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenharia Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Israel Filipe Lopes

Juiz de Fora

2019

Ficha catalográfica elaborada através do Modelo Latex do CDC da UFJF  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Teixeira, Mariana de Oliveira Novais.

Estudo de Viabilidade de um Pequeno Aproveitamento Hidráulico /  
Mariana de Oliveira Novais Teixeira. – 2019.

59 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Israel Filipe Lopes

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de  
Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia. Graduação em Engenharia Elétrica,  
2019.

1. Geração hidráulica. 2. Consumo de energia. 3. Aproveitamento  
energético. I. Lopes, Israel Filipe, orient. II. Título.

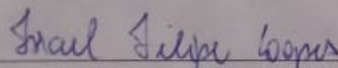
Mariana de Oliveira Novais Teixeira

Estudo de Viabilidade de um Pequeno Aproveitamento Hidráulico

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Juiz de Fora, na área de concentração em Sistemas de Energia, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheira Eletricista.

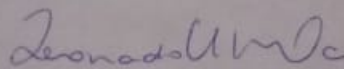
Aprovada em: 03 de Julho de 2019.

BANCA EXAMINADORA



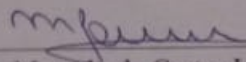
---

Prof. Israel Filipe Lopes, Dr. Eng. (Orientador)  
Universidade Federal de Juiz de Fora



---

Prof. Leonardo Willer de Oliveira, D.Sc.  
Universidade Federal de Juiz de Fora



---

Marcelo de Castro Loures, Eng.  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

*Para minha mãe Tereza, pelo amor que não conhece limites.*

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Israel, pela paciência durante todo o período de elaboração deste trabalho, pelos ensinamentos e dedicação dispensados para a melhor elaboração deste.

À Embrapa Gado de Leite Juiz de Fora e ao meu supervisor de estágio da Embrapa, Marcelo, por ter autorizado a realização deste estudo em suas instalações.

Aos técnicos da Cemig GT MG/TR, pelos incontáveis ensinamentos, através dos quais foi possível um novo entendimento sobre a geração de energia.

Aos professores, que contribuíram para minha formação acadêmica e, principalmente, aos que reconheceram e acreditaram no meu potencial.

À minha mãe, Terezinha, por ter me ensinado a ser a pessoa que sou hoje, por sempre me incentivar a crescer, a dar o meu melhor e pelas incontáveis privações e sacrifícios que teve que enfrentar para que eu alcançasse os meus sonhos.

Às minha irmãs, Jaqueline e Mayara, por entenderem as minhas ausências e estarem sempre ao meu lado acreditando em mim, mesmo quando eu mesmo não acreditava.

A todos os meus amigos, os de Carangola, os de Portland, os de Juiz de Fora, os de Uberlândia, os da UFJF e os da vida, por ajudarem aliviar o peso da faculdade e a construir esse caminho.

Por fim, à Deus e à Nossa Senhora de Aparecida, por nunca me deixarem desamparada.

”Anything’s possible if you’ve got enough nerve”,  
Ginevra Molly Weasley

## RESUMO

A matriz energética brasileira, predominantemente hidráulica, nos últimos anos tem vivenciado um novo cenário: a crescente de fontes alternativas de energia. Com isso, além de grandes usinas baseadas nessas fontes, o consumidor encontrou uma alternativa para sua independência energética através do investimento em micro e minigeração. Esse novo cenário ganhou força nos últimos anos, em grande parte, devido aos constantes aumentos da conta de energia, o acréscimo das bandeiras tarifárias e cenário hidrológico em um ciclo de afluências abaixo do esperado, com períodos chuvosos e secos irregulares. Este trabalho apresentará um panorama energético de uma fazenda agropecuária, que visa essa independência energética através de potencialização de uma antiga instalação adutora. Realizará, também, um estudo sobre a geração hidráulica, com foco em pequenas centrais e centrais geradoras hidrelétricas e suas principais limitações e dados de projetos.

Palavras-chave: Geração hidráulica. Consumo de energia. Aproveitamento energético.



## ABSTRACT

The Brazilian energy matrix, mostly hydraulic, in the past years has been experiencing a new scenario: the increasing of alternative energy sources. Thus, in addition to the large power plants based on these sources, the consumer has found an alternative to their energy dependence through investment in micro and mini-generation. This new scenario has gained strength in recent years, largely due to the constant increases in energy bills, the charge of the tariff flags system and hydrological series in a cycle of lower than expected inflows, with irregular rainy and dry periods. This work will present an energetic outlook of an agricultural and cattle ranch, which aims the energy independence through the potentialization of an old adductor installation. It will also carry out a study on hydropower generation, focusing on small hydroelectric power plants and their main limitations and project data.

Key-words: Hydraulic generation. Energy consumption. Energy use.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Nível de Afluência nos Reservatórios do Sudeste e Centro-Oeste. . . . .	17
Figura 2 – Sequência de Transformação da Energia. . . . .	21
Figura 3 – Usina Hidrelétrica Típica. . . . .	22
Figura 4 – Principais Pontos do Processo de Geração de Energia. . . . .	24
Figura 5 – Sequência de Transformação da Energia em uma Turbina Hidráulica. . . . .	27
Figura 6 – Arranjo com Turbina Kaplan. . . . .	28
Figura 7 – Arranjo com Turbina Francis. . . . .	29
Figura 8 – Arranjo com Turbina Pelton. . . . .	29
Figura 9 – Região de Operação das Turbinas. . . . .	30
Figura 10 – Sequência de Transformação da Energia em um Gerador. . . . .	31
Figura 11 – Campo Experimental José Henrique Bruschi. . . . .	34
Figura 12 – Visão Aérea da Barragem. . . . .	35
Figura 13 – Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. . . . .	36
Figura 14 – ENA Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. . . . .	37
Figura 15 – Visão Frontal da Barragem. . . . .	38
Figura 16 – Visão Canal Livre. . . . .	38
Figura 17 – Visão Superior da Tubulação. . . . .	39
Figura 18 – Consumo Ano 2014. . . . .	40
Figura 19 – Consumo Ano 2015. . . . .	41
Figura 20 – Consumo Ano 2016. . . . .	41
Figura 21 – Consumo Ano 2017. . . . .	42
Figura 22 – Consumo Ano 2018. . . . .	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Participação das Fontes Energéticas na Matriz Brasileira. . . . .	16
Tabela 2 – Bandeiras Tarifárias Vigentes no Brasil até 31 de maio de 2019. . . . .	19
Tabela 3 – Bandeiras Tarifárias Vigentes no Brasil a partir de 1 de junho de 2019. . . . .	19
Tabela 4 – Potências de GD Instaladas no Brasil em 2017. . . . .	20
Tabela 5 – Classificação das Usinas Quanto à Potência Gerada. . . . .	22
Tabela 6 – Classificação das PCH e CGH Quanto à Potência e Queda de Projeto. . . . .	23
Tabela 7 – Vazões do Ribeirão de Santo Antônio. . . . .	39
Tabela 8 – Comparativo do Consumo e Faturamento Anual. . . . .	43
Tabela 9 – Comparativo do Consumo e Faturamento Mensal. . . . .	43

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Norma Técnica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanco Energético Nacional
CEJHB	Campo Experimental José Henrique Bruschi
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
fp	Fora-Ponta
GD	Geração Distribuída
H	Altura
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão de Águas
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
kWh	Quilowatt-hora
m	Metro
MW	Megawatt médio
$MW_{med}$	Megawatt
N	Newton
p	ponta
P	Potência
Proinfa	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
s	Segundos
SEMAD	Secretária de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
TWh	Terawatt-hora
UHE	Usina Hidrelétrica
W	Watt

## LISTA DE SÍMBOLOS

$CE$	Custo da energia gerada em uma usina
$E$	Energia disponível em um aproveitamento
$E_f$	Energia firme gerada durante o período crítico para geração
$E_g$	Energia gerada anualmente por um aproveitamento
$\eta_T$	Eficiência da turbina
$\eta_G$	Eficiência do gerador
$\gamma$	Peso específico do fluido de trabalho
$FRC$	Fator de recuperação de capital considerando uma dada taxa de retorno para um horizonte de tempo
$H$	Altura do aproveitamento
$H_{TOP}$	Altura topográfica
$H_P$	Perda de carga
$Inv$	Custo do investimento, incluindo juros durante a construção de uma usina
$N^{\circ}$	Número
$n_s$	Velocidade nominal
$O\&M$	Operação e Manutenção
$\%$	Porcentagem
$P$	Potência do aproveitamento
$Q$	Vazão do aproveitamento
$Q_{7,10}$	Vazão mínima de 7 dias consecutivos e 10 anos de recorrência
$Q_{90}$	Vazão permanente em 90 % do tempo
$Q_{95}$	Vazão permanente em 95 % do tempo
$Q_{max10}$	Vazão máxima anual para um horizonte de 10 anos
$\sum_{H_p}$	Somatório das perdas de carga
$t$	Tempo
$Z$	Número de polos

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> . . . . .	<b>14</b>
1.1	MOTIVAÇÃO . . . . .	14
1.2	OBJETIVOS . . . . .	14
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO . . . . .	14
<b>2</b>	<b>ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL</b> . . . . .	<b>16</b>
2.1	MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA . . . . .	16
2.2	INCERTEZA NA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA . . . . .	17
2.3	BANDEIRAS TARIFÁRIAS . . . . .	18
2.4	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA . . . . .	19
2.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO . . . . .	20
<b>3</b>	<b>GERAÇÃO HIDRÁULICA</b> . . . . .	<b>21</b>
3.1	USINAS HIDRELÉTRICAS . . . . .	21
3.2	CLASSIFICAÇÃO DO APROVEITAMENTO . . . . .	22
3.3	DADOS DE PROJETO . . . . .	23
3.3.1	<b>Altura de um Aproveitamento</b> . . . . .	24
3.3.1.1	<i>Perdas de Carga</i> . . . . .	25
3.3.2	<b>Vazão de um Aproveitamento</b> . . . . .	25
3.4	SISTEMA TURBINA-GERADOR . . . . .	26
3.4.1	<b>Turbina</b> . . . . .	26
3.4.1.1	<i>Classificação das turbinas</i> . . . . .	27
3.4.1.2	<i>Determinação de uma Turbina</i> . . . . .	30
3.4.2	<b>Gerador</b> . . . . .	30
3.5	POTÊNCIA GERADA . . . . .	31
3.6	AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO . . . . .	32
3.7	ESTUDOS E PROJETOS . . . . .	32
3.8	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO . . . . .	33
<b>4</b>	<b>ESTUDO DE CASO</b> . . . . .	<b>34</b>
4.1	CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA . . . . .	34
4.2	CARACTERÍSTICAS DA INSTALAÇÃO . . . . .	35
4.2.1	<b>Hidrologia</b> . . . . .	35
4.2.2	<b>Estrutura Física</b> . . . . .	37
4.2.3	<b>Vazão</b> . . . . .	39
4.3	CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO CEJHB . . . . .	40

4.3.1	<b>Características do Consumidor</b> . . . . .	43
4.4	<b>DADOS DE PROJETO</b> . . . . .	43
4.4.1	<b>Altura e Vazão de Projeto</b> . . . . .	43
4.4.2	<b>Conservação e Melhorias da Instalação</b> . . . . .	44
4.5	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO</b> . . . . .	44
<b>5</b>	<b>ESTUDO ENERGÉTICO</b> . . . . .	<b>45</b>
5.1	<b>ESTIMATIVA DE GERAÇÃO E RECEITA</b> . . . . .	45
5.2	<b>ESTIMATIVA DE INVESTIMENTO</b> . . . . .	45
5.3	<b>ESTIMATIVA DE VAZÃO IDEAL</b> . . . . .	46
5.4	<b>CARACTERIZAÇÃO DO APROVEITAMENTO</b> . . . . .	46
5.5	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO</b> . . . . .	47
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> . . . . .	<b>48</b>
6.1	<b>TRABALHOS FUTUROS</b> . . . . .	48
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	<b>50</b>
	<b>APÊNDICE A – CONTAS DE ENERGIA</b> . . . . .	<b>53</b>
	<b>ANEXO A – DECLARAÇÃO DE AUTORIZAÇÃO</b> . . . . .	<b>55</b>
	<b>ANEXO B – DETALHES DO COMPRIMENTO DO CANAL</b> . . . . .	<b>56</b>
	<b>ANEXO C – PERFIL TOPOGRÁFICO DO CANAL</b> . . . . .	<b>57</b>
	<b>ANEXO D – CARACTERÍSTICAS DO CONSUMIDOR</b> . . . . .	<b>58</b>
	<b>ANEXO E – VALORES DA TARIFA DE ENERGIA</b> . . . . .	<b>59</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Em função do atual cenário energético brasileiro, primariamente dependente de fontes hidráulica e fósseis, as flutuações da tarifa de energia e a incerteza do abastecimento, ora devido aos níveis dos reservatórios, estabelecidos pelos períodos úmidos, que nos últimos anos tem passado por um ciclo de baixas afluências, ora pelo elevado preço do petróleo no mercado internacional, ajudaram a aumentar a procura por formas alternativas de geração de energia.

Ciclos hidrológicos com baixas afluências ocorrem e estão sujeitos a incerteza na produção de energia, portanto, um consumidor ao investir em geração própria assume o risco que vem atrelado a tal, no caso da fonte hídrica, o risco associado com a afluência. Entretanto, mesmo em condições não favoráveis para a geração de energia, o montante gerado impactaria o consumo faturado do consumidor, reduzindo o seu suprimento através da concessionária de energia e, por consequência, diminuindo a sua exposição a flutuações do preço da energia e a cobrança de bandeiras tarifárias.

### 1.1 MOTIVAÇÃO

Buscar a independência energética é algo almejado pela maioria dos consumidores, que apesar do investimento inicial, terá uma redução da sua conta de energia com a instalação de uma geração distribuída (GD) em sua casa, empresa, indústria, entre outros. Nesse sentido, o investimento em GD se tornou algo palpável e, em muitos casos, financeiramente viável, com auxílio de incentivos econômicos e regulatórios.

Baseando-se nesse princípio, através do estágio da autora deste trabalho, viu-se a oportunidade do estudo da potencialização de uma estrutura, já existente, nas instalações da Embrapa Gado de Leite, assim, a realização de um estudo técnico-econômico sobre a produção própria de energia.

### 1.2 OBJETIVOS

Com este trabalho, objetiva-se um estudo de viabilidade técnica da potencialização de uma estrutura utilizada para a captação de água existente no Campo Experimental da Embrapa Gado de Leite, localizada em Coronel Pacheco, Minas Gerais, e a quantificação da vazão hidráulica mínima necessária para que a mesma supra todo o consumo de campo experimental.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é dividido em 6 capítulos. O primeiro capítulo aborda, brevemente, os tópicos a serem discutidos no decorrer deste estudo e o objetivo do mesmo, contextualizando-



os no cenário energético brasileiro atual.

O segundo capítulo versa sobre a energia elétrica no Brasil. Ele aborda, também, a matriz energética brasileira, a incerteza na produção de energia e os fatores que contribuem para tal, o sistema de tarifação vigente e, por fim, fala-se sobre a geração distribuída.

No terceiro capítulo há um detalhamento acerca da geração hidráulica: sua classificação de acordo com o tipo de aproveitamento, os dados a serem considerados para projeto, o sistema turbina-gerador e a potência instalada.

Já o quarto capítulo disserta sobre a estrutura de estudo deste trabalho, contextualiza-a historicamente e energeticamente. São detalhadas a altura e vazão do aproveitamento, de acordo com trabalhos prévios, e o consumo da fazenda.

O quinto capítulo é dedicado à análise dos dados do projeto. São discutidos os resultados energéticos obtidos a partir dos dados do capítulo anterior, o investimento inicial e de operação da estrutura, e a vazão mínima necessária para suprir todo o consumo da fazenda.

O sexto capítulo sumariza as descobertas deste trabalho e as considerações finais da autora, bem como sugestões de trabalhos futuros.

Por fim, conteúdos complementares para um melhor entendimento deste trabalho são apresentados no apêndice e anexos.

## 2 ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Atualmente, o sistema energético brasileiro é predominantemente suprido por fonte hídrica, ou seja, por uma fonte renovável (EPE, 2018a). Esse suprimento acontece através das usinas hidrelétricas, que possuem os mais variados valores de potência instalada, de forma que aproveitam as mais diversas condições hidrológicas e topológicas do território brasileiro.

Nas seções a seguir será abordado a energia elétrica no Brasil através da descrição da matriz energética brasileira, o impacto da crise hídrica de 2014, que mostrou a dependência do país desta fonte, a cobrança da bandeiras tarifárias, que elevaram ainda mais o valor final da energia para o consumidor cativo, e, por fim, a geração distribuída, que é uma alternativa para o consumidor que busca a sua independência energética.

### 2.1 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

O cenário energético brasileiro, aos poucos, está sendo modificado devido à inserção de novas fontes de energia através de incentivos à diversificação da matriz energética brasileira, como o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas (Proinfa), que visa elevar a participação de PCH's, usinas eólicas e térmicas a biomassa na matriz energética brasileira (ANEEL, 2015b).

De acordo com dados do Balanço Energético Nacional (BEN) de 2018, a matriz energética brasileira é composta por:

Tabela 1 – Participação das Fontes Energéticas na Matriz Brasileira.

Hidráulica	65,2 %
Biomassa	8,2 %
Eólica	6,8 %
Solar	0,1 %
Gás Natural	10,5 %
Derivados do Petróleo	3,0 %
Nuclear	2,5 %
Carvão e Derivados	3,6 %
Fonte: Adaptado de (EPE, 2018b).	

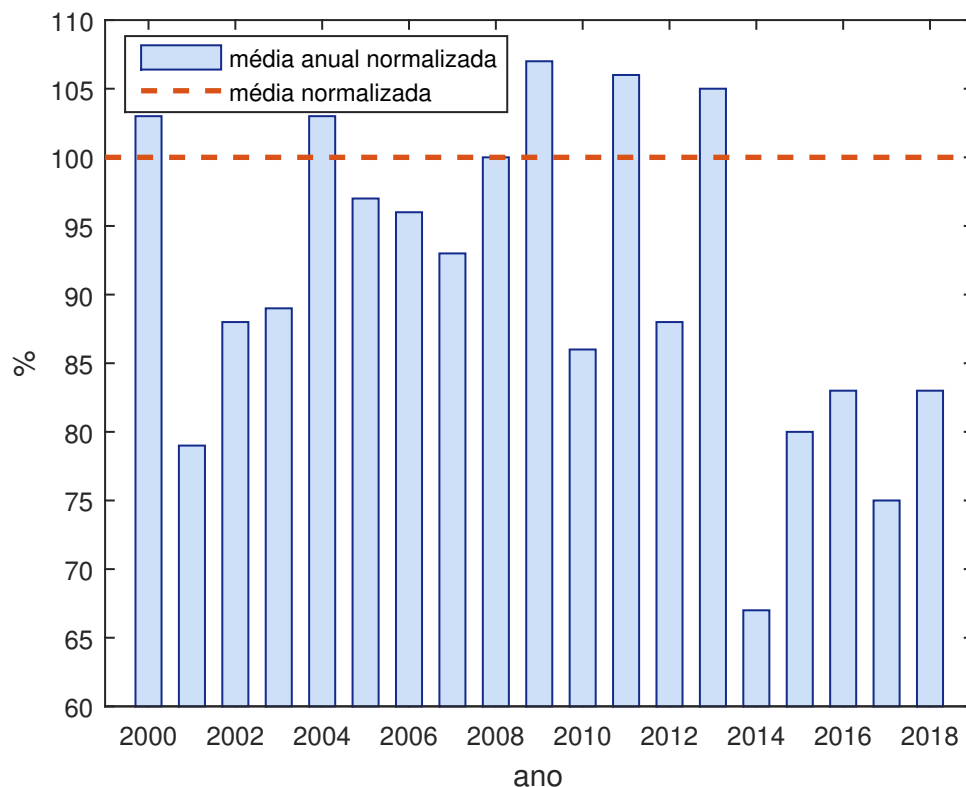
Como pode ser observado na Tabela 1, do montante de energia ofertado no país, a parcela referente à fonte hidráulica corresponde a 65,2 %, incluindo a importação de energia. Da oferta total de energia, 624,3 TWh, sendo 36,4 TWh de importação, essa porcentagem equivale a 407,3 TWh (EPE, 2018a,b).

## 2.2 INCERTEZA NA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Devido a um regime hídrico inconsistente nos últimos anos, decorrente de um ciclo hidrológico de vazões abaixo do esperado, evidenciado pela crise hídrica ocorrida nos anos de 2014 e 2015, o Brasil tem vivenciado um período de incertezas quanto ao fornecimento de água tanto para o consumo humano, cultivo de lavouras e criações, quanto para a geração de energia elétrica (CERQUEIRA et al., 2015).

A Figura 1 mostra as afluências para os reservatórios do sub-sistema Sudeste/Centro-Oeste, principal sub-sistema do país, gerando aproximadamente 70 % de produção de energia do Brasil. Destaca-se que a partir do ano de 2014, os valores de afluência recebidos foram abaixo do esperado, caracterizando o maior período com este cenário desde o ano 2000 (AMATO, 2019).

Figura 1 – Nível de Afluência nos Reservatórios do Sudeste e Centro-Oeste.



Fonte: Autora, adaptado de AMATO (2019).

Diversos fatores contribuíram para que os efeitos deste cenário hidrológico não fossem mitigados, de forma a reduzir ao máximo o número de consumidores afetados. De acordo com (CERQUEIRA et al., 2015), a série de fatores que contribuíram para a crise hídrica foi:

- Sinalização de consumo errônea: em 2012, o Governo Federal reduziu o custo da tarifa de energia elétrica (em média, 20 % a menos, através de uma alteração na Medida Provisória Nº579, de 2012) e garantiu para população que não faltaria energia elétrica;
- Problemas em obras de geração e transmissão de energia: obras de usinas hidrelétricas finalizadas, porém com falta de um sistema de transmissão para escoar a sua produção, ou sistema de transmissão concluído, mas com usinas a serem finalizadas;
- Usinas a fio d'água: a partir do ano 2000, foram construídas poucas usinas com reservatório; e
- Ingresso de empresas sem experiências prévias na área e que não conseguiram entregar as obras contratadas.

Pouco tempo após o Governo sinalizar como um momento oportuno para o consumo de eletricidade, determinou-se que as usinas térmicas disponíveis fossem acionadas, de forma a poupar os reservatórios das hidrelétricas. Ou seja, tal medida serviu como um indicativo de que a escassez de água era algo a ser considerado. Aliou-se a este motivo o fato de, por diversas razões financeiras, burocráticas e ambientais, as obras de expansão do sistema elétrico brasileiro não ficarem prontas dentro dos prazos estabelecidos, sofrerem atrasos, ou não serem concluídas, e da maioria das novas hidrelétricas a serem implantadas corresponderem a fio d'água (CERQUEIRA et al., 2015).

O impacto dessa crise foi a elevação no preço da tarifa de energia, que poderia ter sido realizado de outra forma, caso o sistema de bandeiras tarifárias já estivesse vigente (programado para 2014, porém implementado em 2015) (CERQUEIRA et al., 2015), como será melhor explicado na próxima seção.

Ressalta-se que, apesar do potencial hidráulico brasileiro, tanto o Governo como o consumidor devem buscar investir em outras fontes energéticas alternativas de forma a aumentar a disponibilidade e a diversificação da matriz energética brasileira. No caso do consumidor, foco deste trabalho, investimentos em GD ajudam a reduzir a sua dependência da concessionária de energia elétrica, tornando seus gastos com energia menores e, em caso de crises como esta, prejuízos menores, caso hajam.

### 2.3 BANDEIRAS TARIFÁRIAS

A partir do ano de 2015, entrou em vigor o acréscimo da bandeira tarifária sobre o valor da tarifa de energia. Vista nas contas de energia elétrica de todos os consumidores cativos, com exceção dos localizados em sistemas isolados, a cobrança extra no valor do kWh flutuará de acordo com as condições operativas para a produção de energia vigente no país para dado mês, ou seja, os níveis dos reservatórios, acionamento ou não das usinas

térmicas e a produção eólica. Portanto, as bandeiras representaram o custo da produção da energia para certas condições (ANEEL, 2015c).

Mensalmente, a ANEEL realiza uma análise das condições vigentes no país (o risco hidrológico associado à geração de energia e o preço de liquidação das diferenças, que determina o preço da energia no mercado de curto prazo) e estabelece qual bandeira estará vigente no mês seguinte. Há três tipos de bandeiras, enquadradas em quatro condições de geração de energia: verde, amarela, e vermelha (ANEEL, 2015c, 2018).

A bandeira verde indica que as condições para a geração de energia são favoráveis. A bandeira amarela indica que tais condições são pouco favoráveis. Por fim, a vermelha é dividida em dois patamares: o primeiro indicando condições mais caras de geração e o segundo indicando condições ainda mais dispendiosas de geração (ANEEL, 2015c).

Na Tabela 2, detalha-se os valores cobrados pelas bandeiras tarifárias. Ressalta-se que, de acordo com a data do faturamento da conta de energia do consumidor e a data da mudança de vigência da bandeira tarifária, é possível, na mesma fatura, contemplar a cobrança de mais de um tipo bandeira.

Tabela 2 – Bandeiras Tarifárias Vigentes no Brasil até 31 de maio de 2019.

Verde	Não há custo adicional sobre a tarifa de energia
Amarela	Acréscimo de R\$ 0,01 por cada kWh consumido
Vermelha	Patamar 1: acréscimo de R\$ 0,03 por cada kWh consumido
	Patamar 2: acréscimo de R\$ 0,05 por cada kWh consumido

Fonte: (ANEEL, 2015c).

Em maio de 2019, por meio de uma audiência pública, baseando-se no cenário hidrológico que vigorou no Brasil no ano de 2018, que pode ser melhor entendido através da Figura 1, a ANEEL reajustou o valor das bandeiras tarifárias para os seguintes valores, mostrados na Tabela 3, a vigorar a partir de 1 de junho de 2019 (ANEEL, 2018):

Tabela 3 – Bandeiras Tarifárias Vigentes no Brasil a partir de 1 de junho de 2019.

Verde	Não há custo adicional sobre a tarifa de energia
Amarela	Acréscimo de R\$ 0,015 por cada kWh consumido
Vermelha	Patamar 1: acréscimo de R\$ 0,040 por cada kWh consumido
	Patamar 2: acréscimo de R\$ 0,060 por cada kWh consumido

Fonte: (ANEEL, 2018).

## 2.4 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Geração distribuída, mais conhecida como GD, é a geração de eletricidade realizada junto ou próxima do consumidor, e independe da potência gerada, da tecnologia empregada e da fonte de energia adotada. Incluem-se como GD a cogeração, painéis fotovoltaicos, geração a partir de resíduos de processos, PCH's, entre outros (INEE, 19-?).

Segundo dados do BEN 2018, a potência instalada de micro e mini GD equivale a 246,1 MW, representando um aumento de mais de 339,4 %, se comparado aos 72,5 MW detalhados no BEN 2017 (EPE, 2018b). A Tabela 4 discrimina as potências instaladas das micros e minis GD de acordo com a fonte alternativa empregada.

Tabela 4 – Potências de GD Instaladas no Brasil em 2017.

Hidráulica	37,3 MW
Térmica	24,0 MW
Eólica	10,3 MW
Solar	174,5 MW
<b>Total Disponível</b>	<b>246,1 MW</b>

Fonte: (EPE, 2018b).

Deve-se salientar os benefícios agregados à implementação de uma GD em detrimento de uma geração centralizada: além dos benefícios ao sistema, reduz os custos com investimentos em transmissão de energia e as perdas energéticas, e promove a melhoria da estabilidade da servidão da energia elétrica. Para o consumidor, reduz a sua dependência da concessionária de energia, tornando-se menos afetado pelas variações da tarifa e crises energéticas (INEE, 19-?).

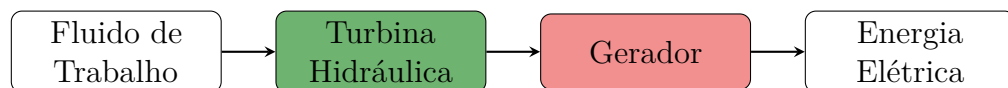
## 2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Como discutido acima, o Brasil ainda é majoritariamente dependente da fonte hídrica. Apesar deste cenário está se modificando com o decorrer dos anos e dos avanços tecnológicos da área, os impactos dessas mudanças serão sentidos pelo consumidor a médio e longo prazo. Dessa forma, as elevadas contas de energia, que com o recente reajuste das bandeiras tarifárias ficarão ainda mais caras, continuarão a ser uma preocupação constante para os consumidores cativos. Baseada, principalmente, nessa crescente dos preços da energia, os investimentos em GD estão conquistando o mercado cativo, por ser uma alternativa à dependência das companhias energéticas e uma forma de baratear o seu consumo.

### 3 GERAÇÃO HIDRÁULICA

A geração de energia a partir de uma fonte hídrica acontece através de turbinas hidráulicas, que são um tipo de máquinas hidráulicas. A turbina recebe a energia mecânico-hidráulica do fluxo de água e a converte em energia mecânico-motriz, que acionará o gerador, produzindo energia (SIMONE, 2010). A Figura 2 detalha a sequência da transformação da energia (PEREIRA, 2015, SIMONE, 2010).

Figura 2 – Sequência de Transformação da Energia.



Fonte: Autora.

Essa conversão de energia ocorre em usinas hidrelétricas, que são estruturas que visam o aproveitamento das condições de geração nas quais ela se encontra instalada.

Nas seções a seguir será detalhada a geração hidráulica. Serão descritos as principais partes da constituição de usina hidrelétrica, os dados de projeto e os seus cálculos de acordo com particularidades do aproveitamento e legislação vigente, a classificação de um aproveitamento de acordo com a potência instalada, o sistema turbina-gerador e as suas especificações. Será brevemente abordado um método de avaliação técnico-econômica e estudos e projetos para uma aproveitamento desta modalidade.

#### 3.1 USINAS HIDRELÉTRICAS

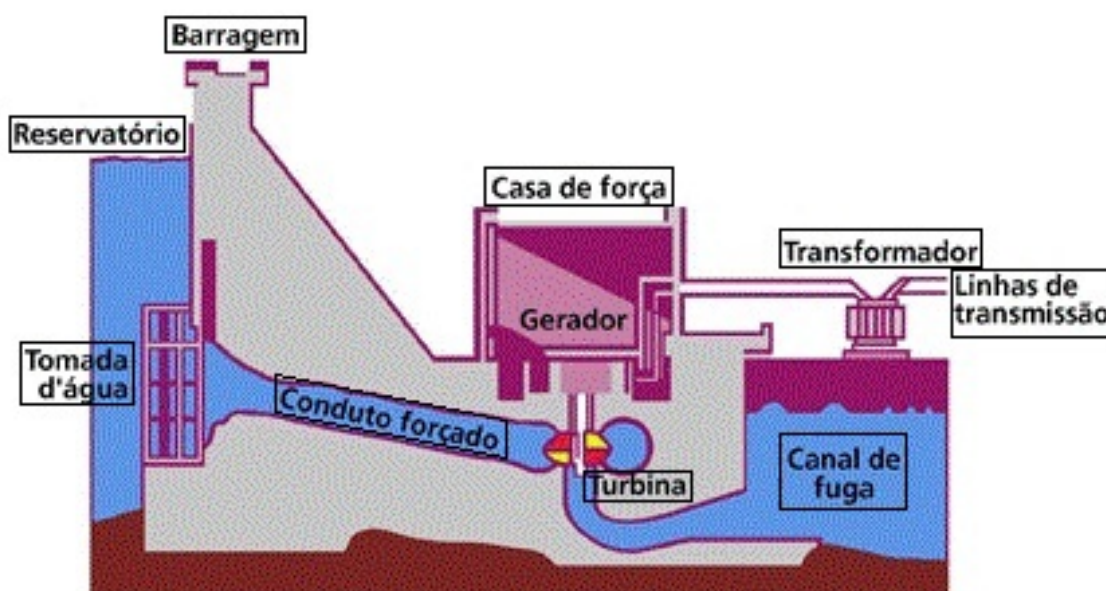
A composição básica de uma usina hidrelétrica, independente de sua capacidade instalada, é (PEREIRA, 2015):

- Barragem: responsável pelo acúmulo de água, recebendo a energia natural afluyente, armazenando energia potencial. É o ponto inicial da produção de energia elétrica;
- Vertedouro: atua como dispositivo de segurança operativo, controlando o nível do reservatório;
- Tomada d'água: capta o fluido de trabalho, água, para iniciar o processo de produção de energia;
- Conduto forçado: recebe o fluido de trabalho e o direciona para turbinamento;
- Casa de força: abriga o sistema produtivo da usina, conjunto turbina-gerador. A energia elétrica gerada nesse ponto será transportada para os consumidores através do sistema de transmissão; e

- Canal de fuga: ponto de retorno do fluido de trabalho ao curso d'água. É o ponto final do processo produtivo.

A Figura 3 retrata a composição de uma usina hidrelétrica.

Figura 3 – Usina Hidrelétrica Típica.



Fonte: Adaptado de (USINA, 19-?).

### 3.2 CLASSIFICAÇÃO DO APROVEITAMENTO

De maneira simplificada, a produção de energia elétrica é norteadada por dois pontos principais: pela vazão do aproveitamento, e conseqüentemente a aflluência do curso d'água no qual a usina será instalada, e pelo desnível topográfico natural ou artificial do terreno. Com essas duas informações determina-se a capacidade de geração de energia do aproveitamento, o tipo da turbina a ser empregada, o tipo da barragem e o reservatório (ANEEL, 2008).

Segundo (ELETROBRÁS, 1999) e (ANEEL, 2005), o aproveitamento hidrelétrico pode ser classificado segundo a Tabela 5 e Tabela 6:

Tabela 5 – Classificação das Usinas Quanto à Potência Gerada.

<b>Tipo de Usina</b>	<b>Potência [kW]</b>
Central Geradora Hidrelétrica (CGH)	$P \leq 1000$
Pequena Central Hidrelétrica (PCH)	$1000 < P < 30000$
Usina Hidrelétrica (UHE)	$P \geq 30000$

Fonte: Adaptado de (ANEEL, 2005).



Tabela 6 – Classificação das PCH e CGH Quanto à Potência e Queda de Projeto.

Tipo de Central	Potência [kW]	Altura de Queda [m]		
		Baixa	Média	Alta
Micro	$P < 100$	$H < 15$	$15 < H < 50$	$H > 50$
Mini	$100 < P < 1000$	$H < 20$	$20 < H < 100$	$H > 100$
Pequena	$1000 < P < 30000$	$H < 25$	$25 < H < 130$	$H > 130$

Fonte: Adaptado de (ELETROBRÁS, 1999).

Mais recentemente, através da Resolução Normativa Nº673, a ANEEL modificou o limite inferior da potência de uma PCH, como descrito abaixo, (ANEEL, 2015a):

“Serão considerados empreendimentos com características de PCH aqueles empreendimentos destinados a autoprodução ou produção independente de energia elétrica, cuja potência seja superior a 3.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW e com área de reservatório de até 13 km<sup>2</sup>, excluindo a calha do leito regular do rio.”

No que tange os tipos de reservatórios, há dois tipos (ANEEL, 2008):

- Acumulação: localiza-se à montante dos rios onde há altas quedas d’água e atua como acumulador de água para os períodos de seca, além de atuar na regularização das usinas à sua jusante;
- Fio d’água: utiliza o fluxo d’água do rio para operar e não possui acúmulo de água, ou possuem em dimensões menores.

### 3.3 DADOS DE PROJETO

Como supracitado, as duas principais informações a serem conhecidas de um local no qual se deseja implementar um aproveitamento hidrelétrico são a vazão e a altura de queda. Com estes dois dados, calcula-se, de forma ideal, a potência do aproveitamento (PEREIRA, 2015, SIMONE, 2010).

$$P = \gamma \cdot Q \cdot H \quad (3.1)$$

Em que:

- $P$ : Potência do aproveitamento, em W;  
 $\gamma$ : peso específico do fluido, em N/m<sup>3</sup>;  
 $Q$ : vazão do aproveitamento, em m<sup>3</sup>/s; e  
 $H$ : altura do aproveitamento, em m.

A energia que pode ser extraída de um aproveitamento e transformada em outra forma de energia, é calculada através da relação da potência gerada em um dado horizonte de tempo, logo (ELETROBRÁS, 19-?):

$$E = P \cdot t \quad (3.2)$$

Em que:

$E$ : Energia do aproveitamento, em kWh;

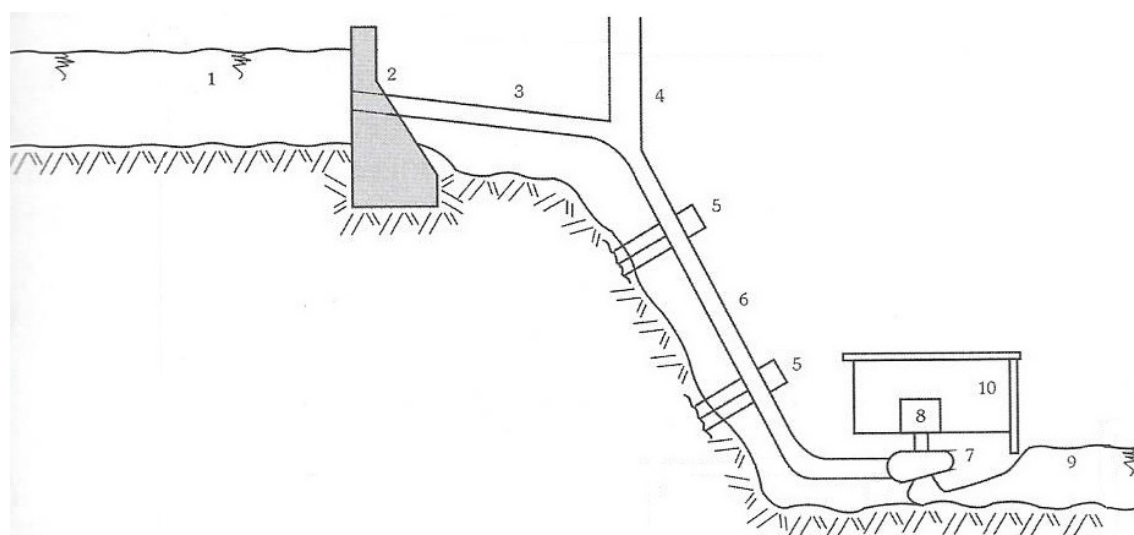
$P$ : Potência do aproveitamento, em kW; e

$t$ : Horizonte de tempo, em s.

### 3.3.1 Altura de um Aproveitamento

Para um aproveitamento hipotético, desconsiderando as perdas de carga e supondo que a canalização seja ideal, a altura disponível para se utilizar em um aproveitamento hidroenergético é determinada pela altura topográfica, que pode ser definida pela diferença entre o nível do reservatório e o canal de fuga, que é por onde a água que foi turbinada é devolvida ao corpo d'água (PEREIRA, 2015, SIMONE, 2010). Na Figura 4 é possível ver o nível do reservatório e o canal de fuga.

Figura 4 – Principais Pontos do Processo de Geração de Energia.



- 1: Reservatório Superior
- 2: Barragem
- 3: Tubulação de Pressão
- 4: Chaminé de Equilíbrio
- 5: Blocos de Ancoragem

- 6: Tubulação Forçada
- 7: Tubulação de Reação
- 8: Gerador
- 9: Canal de Fuga
- 10: Casa das Máquinas

Fonte: Adaptado de (SIMONE, 2010).

Dessa maneira, a altura disponível para um aproveitamento é calculada considerando as perdas de carga existente e os efeitos da canalização através da seguinte relação Equação 3.3 (PEREIRA, 2015, SIMONE, 2010):

$$H = H_{TOP} - \sum H_P \quad (3.3)$$

Em que:

- $H$ : Altura disponível do aproveitamento, em m;
- $H_{TOP}$ : altura topográfica, em m; e
- $H_P$ : perda de carga, em m.

### 3.3.1.1 *Perdas de Carga*

As perdas de carga são as perdas energéticas que ocorrem durante todo o processo de geração de energia, iniciando na adução do fluido de trabalho e finalizando na restituição do mesmo ao curso d'água (PEREIRA, 2015, SIMONE, 2010). A exemplo de tais perdas, têm-se (SIMONE, 2010):

- Perdas no conduto forçado;
- Perdas no canal livre ou adução;
- Perdas no bocal da tomada d'água;
- Perdas por aceleração no reservatório;
- Perdas nas grades de proteção do sistema de adução; e
- Perdas nos trilhos das comportas.

Tais perdas de carga podem ser calculadas de diversas maneiras, através das várias equações empíricas encontradas na literatura que atendem condições energéticas específicas do fluido. A exemplo, tem-se as fórmulas de Scobey e Hazen-Williams encontradas em (SIMONE, 2010).

De acordo com (PEREIRA, 2015), as perdas de carga em sistemas de “adução e restituição” geralmente, estão entre 2 % a 5 % da altura topográfica.

### 3.3.2 **Vazão de um Aproveitamento**

Vazão é o volume de um dado fluido por unidade de tempo que escoar por uma seção reta. Entende-se por vazão firme de um aproveitamento, no jargão da área técnica conhecido como “engolimento” da turbina, a vazão que se pode turbinar sem que haja alteração da altura no nível do reservatório (SIMONE, 2010).

A Resolução Conjunta Nº1548 SEMAD-IGAM de 2012, estabelece que (SEMAD-IGAM, 2012):

“O limite máximo de captações e lançamentos a serem outorgados nas bacias hidrográficas do Estado, por cada seção considerada em condições naturais, será de 50 % (cinquenta por cento) da  $Q_{7,10}$ , ficando garantidos a jusante de cada derivação, fluxos residuais mínimos equivalentes a 50 % (cinquenta por cento) da  $Q_{7,10}$ .”

Logo, para o Estado de Minas Gerais, a vazão  $Q_{7,10}$ , que é calculada como a mínima vazão de 7 dias consecutivos e 10 anos de recorrência, é referência para o cálculo da disponibilidade hídrica (PEREIRA, 2017, SEMAD-IGAM, 2012, SOUZA, 2009). O cálculo desta vazão  $Q_{7,10}$  se baseia em um média móvel para determinar o menor valor de vazão durante o ano, para após ser tratado estatisticamente (PARDO, 2010).

A vazão do projeto, que é a vazão a ser outorgada, considerando as condições naturais, será de 50 % da vazão de referência, assegurando, desse modo, a vazão a jusante os demais 50 % (SEMAD-IGAM, 2012).

Dessa forma, a vazão firme de projeto será dada pela seguinte relação:

$$Q = 0,5 \cdot Q_{7,10} \quad (3.4)$$

Em que:

$Q$ : Vazão de projeto, em  $m^3/s$ ; e

$Q_{7,10}$ : vazão mínima de 7 dias consecutivos e 10 anos de recorrência, em  $m^3/s$ .

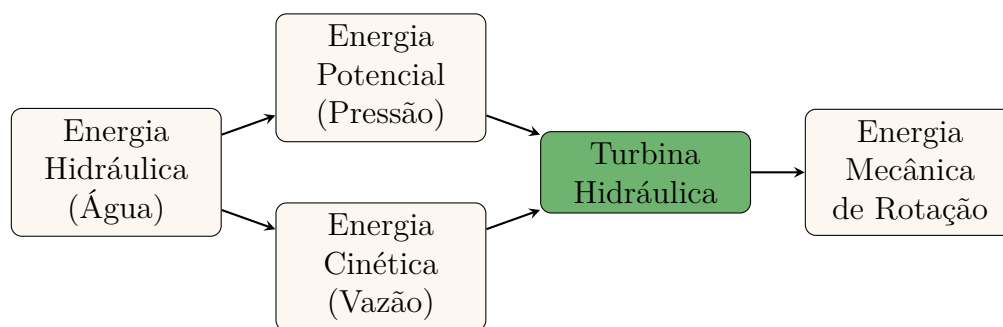
### 3.4 SISTEMA TURBINA-GERADOR

O sistema turbina-gerador é uma turbina com seu eixo diretamente conectado a um gerador. De acordo com o tipo e a capacidade do sistema, ele pode ser construído na horizontal ou vertical. Entretanto, sabendo que os setores do sistema elétrico brasileiro são compostos, em sua maioria, por máquinas síncronas e que a frequência operativa é de 60 Hz, deve haver correspondência entre velocidade rotacional do arranjo com a velocidade síncrona (PEREIRA, 2015, SIMONE, 2010).

#### 3.4.1 Turbina

A turbina hidráulica, como exposto na Figura 2, é um conversor de energia. Ela recebe a energia hidráulica do fluido de trabalho, sendo esta constituída por energia cinética devido à sua vazão e energia potencial devido à sua pressão, e a converte em energia mecânica (CARVALHO, 1982, PEREIRA, 2015). A Figura 5 expõe esse processo de conversão.

Figura 5 – Sequência de Transformação da Energia em uma Turbina Hidráulica.



Fonte: Autora.

As turbinas são basicamente compostas por dois órgãos: o rotor e o distribuidor. O rotor é composto por pás ou conchas sobre as quais o fluido de trabalho, direcionado pelo distribuidor, incide, produzindo um torque e movimentando o eixo. Já o distribuidor controla a vazão a ser turbinada e direciona o fluido de trabalho para o rotor, convertendo a energia de pressão deste em energia cinética (CARVALHO, 1982).

Esses detalhes construtivos variam de acordo com o tipo de aproveitamento, como altura e vazão de projeto, sendo a turbina especificada para se obter a melhor performance de cada um dos tipos de turbina (CARVALHO, 1982, PEREIRA, 2015).

#### 3.4.1.1 Classificação das turbinas

As turbinas são classificadas de acordo com o seu princípio de funcionamento, podendo ser de ação ou reação (CARVALHO, 1982, PEREIRA, 2015, SIMONE, 2010).

Segundo (SIMONE, 2010), turbinas de ação “ são conversores hidromecânicos que operam com a energia cinética da água, recebendo energia na forma mecânico-hidráulica e fornecendo na forma de mecânico-motriz” e, turbina de reação “é uma máquina hidráulica que converte energia mecânico-hidráulico, das formas cinética e de pressão, em energia mecânico-motriz.”

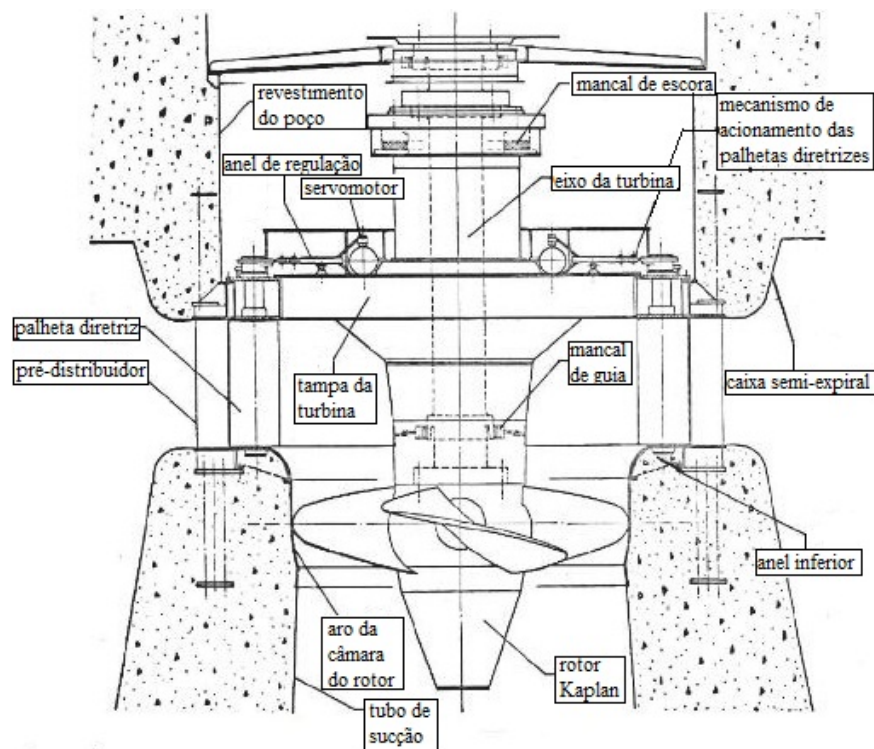
De outra forma, têm-se (CARVALHO, 1982, PEREIRA, 2015, SIMONE, 2010).

- Turbina de ação: a conversão da energia de pressão em cinética ocorre antes de chegar ao rotor, que funciona em pressão próxima a atmosférica, pois não opera mergulhado na água; e
- Turbinas de reação: a conversão das parcelas de energia cinética e de pressão que são recebidas em energia motriz ocorre em duas parcelas: a primeira, devido à ação de impulso, decorrente da passagem da água pelo rotor, e a segunda, devido a reação que, por o mesmo operar mergulhado na água, tem uma queda de pressão.

A Figura 6 e a Figura 7 detalham a constituição de uma turbina Kaplan e uma

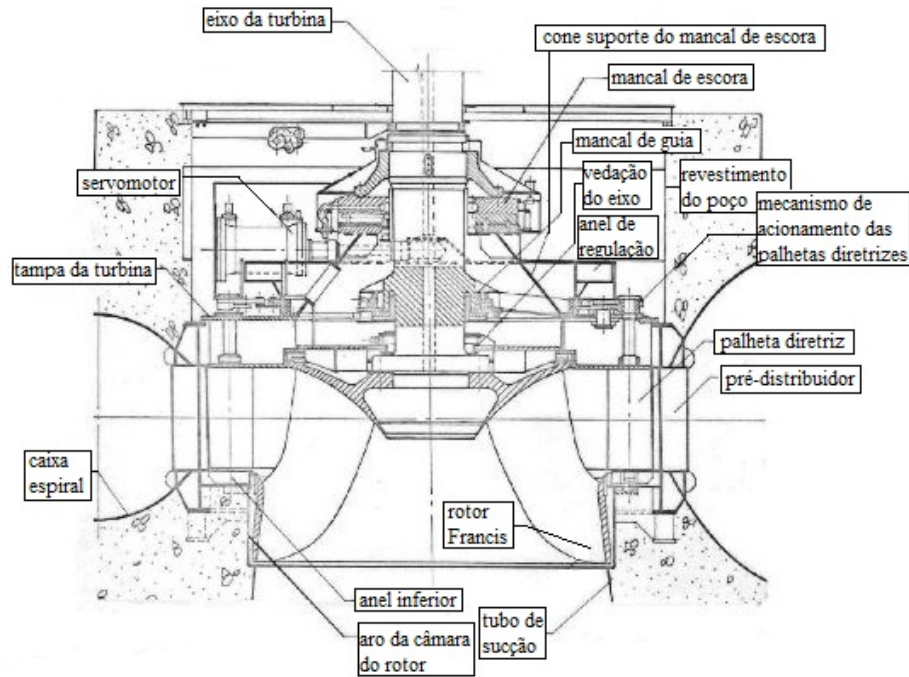
Francis, que são os modelos de turbinas de reação mais utilizados. Já a Figura 8 detalha a constituição de uma turbina Pelton, que, por sua vez, é o modelo de turbina de ação mais empregado (CARVALHO, 1982, PEREIRA, 2015).

Figura 6 – Arranjo com Turbina Kaplan.



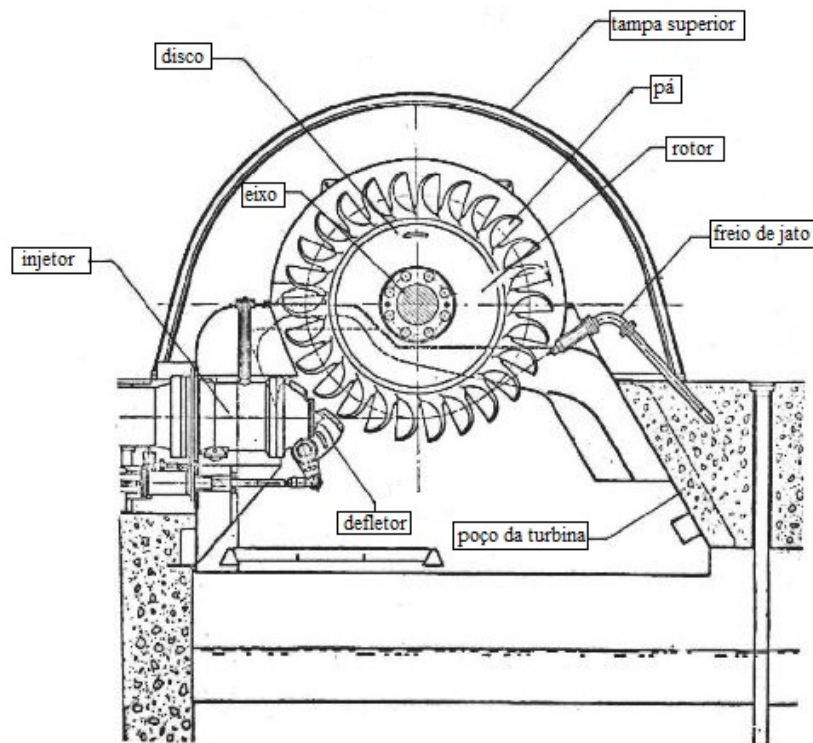
Fonte: Adaptado de (ABNT, 2016), baseado em (PEREIRA, 2015).

Figura 7 – Arranjo com Turbina Francis.



Fonte: Adaptado de (ABNT, 2016), baseado em (PEREIRA, 2015).

Figura 8 – Arranjo com Turbina Pelton.



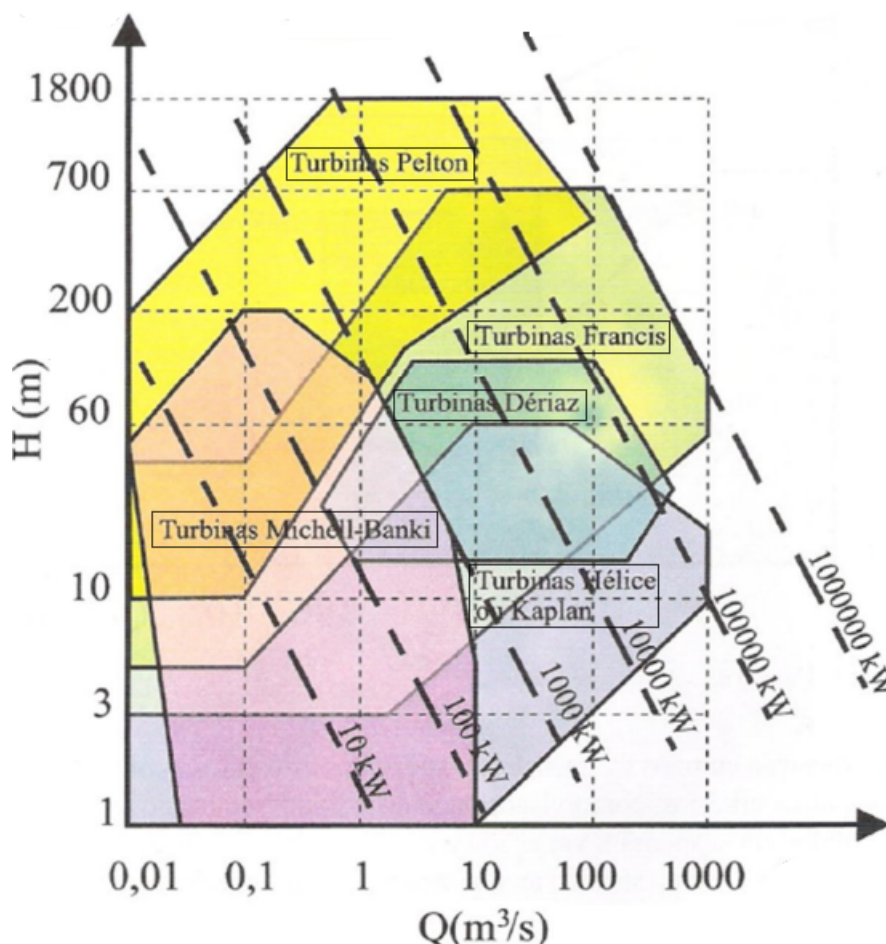
Fonte: Adaptado de (ABNT, 2016), baseado em (PEREIRA, 2015).



### 3.4.1.2 Determinação de uma Turbina

A Figura 9 descreve a região de operação das turbinas, baseando-se nos parâmetros de vazão, altura e potência (HENN, 2006). Ressalta-se que de acordo com o tipo de modificação realizada na turbina estas faixas operativas podem ser adaptadas.

Figura 9 – Região de Operação das Turbinas.



Fonte: Adaptado de (HENN, 2006).

Analisando este gráfico através dos limites classificatórios da Tabela 6, para potência instalada menor ou igual a 1000 kW, que é o limite para uma instalação ser classificada como CGH, tem-se, principalmente, as turbinas Pelton, Francis e Kaplan, já citadas neste trabalho, e a turbina Michell-Banki, muito empregada nessas instalações, devido ao seu baixo custo e boas condições operativas para variações de vazão (HENN, 2006). Para a uma PCH, a turbina Dériaz é uma opção, juntamente com a Pelton, Francis e Kaplan.

### 3.4.2 Gerador

Os geradores são máquinas elétricas que recebem energia mecânica de um sistema primário, no caso do aproveitamento hidráulico, a turbina, e a converte em energia elétrica.



Essa geração pode ser em corrente contínua ou corrente alternada (SIMONE, 2010).

Figura 10 – Sequência de Transformação da Energia em um Gerador.



Fonte: Autora.

Destacou-se previamente que, no Brasil, quase a totalidade dos geradores de corrente alternada em operação são máquinas síncronas. Deve-se, portanto, garantir o sincronismo da máquina, (PEREIRA, 2015, SIMONE, 2010). Logo:

$$n = \frac{7200}{Z} \quad (3.5)$$

Em que:

- $n$ : Velocidade nominal, em rpm; e  
 $Z$ : número de polos.

Para aproveitamentos hidrelétricos, o número de polos do gerador é inversamente proporcional à altura do aproveitamento. Para alturas maiores, o gerador realiza um número de rotações maiores, logo, de acordo com a Equação 3.5, o gerador possui um número de polos menor. O mesmo é válido para alturas menores (PEREIRA, 2015).

Baseando nessa premissa, é desejável que o sistema turbina-gerador tenha a maior velocidade possível, pois isso representa um sistema de dimensões menores, consequentemente, mais barato de ser implementado (PEREIRA, 2015).

### 3.5 POTÊNCIA GERADA

Em um sistema real, os equipamentos possuem limitações físicas, mecânicas e elétricas. Essas limitações manifestam-se na forma de eficiência do equipamento, que é a relação entre o montante de energia que foi produzido em relação ao que idealmente poderia ter sido produzido.

Dessa forma, deve-se ponderar na Equação 3.1 as eficiências dos processos de conversão de energia na turbina e no gerador. Logo, a potência gerada por um aproveitamento pode ser estimada por (PEREIRA, 2015, SIMONE, 2010) :

$$P = \eta_T \cdot \eta_G \cdot \gamma \cdot Q \cdot H \quad (3.6)$$

Em que:

$P$ : Potência do aproveitamento, em W;  
 $\eta_T$ : eficiência da turbina, adimensional; e  
 $\eta_G$ : eficiência do gerador, adimensional.

Segundo (PEREIRA, 2015), os valores típicos dos rendimentos dos equipamentos é estimado para conjunto em 88 % e individualmente em 90 % para a turbina e 98 % para o gerador.

Deve-se ressaltar que a potência final entregue ao consumidor é passível de perdas de transmissão e distribuição, que pode ser calculada por um fluxo de potência. Entretanto, esse aspecto do planejamento de um aproveitamento, não será abordado neste trabalho.

### 3.6 AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO

Uma das formas de se avaliar a viabilidade técnico-financeira de um empreendimento é através da comparação entre os custos da energia cobrada no mercado e os custos da energia gerada (PEREIRA, 2015).

A partir da Equação 3.7, pode-se realizar um estudo preliminar sobre a viabilidade de um aproveitamento (PEREIRA, 2015):

$$CE = \frac{Inv \cdot FRC + O\&M \cdot Eg}{Ef \cdot 8760} \quad (3.7)$$

Em que:

$CE$ : Custo da energia gerada, em R\$/MWh;  
 $Inv$ : valor de investimento total, incluindo juros durante a construção, em R\$;  
 $FRC$ : fator de recuperação de capital, adimensional;  
 $O\&M$ : custo anual de operação e manutenção, em R\$/kWh;  
 $Eg$ : energia gerada anual, em MWh; e  
 $Ef$ : energia firme no período crítico, em  $MW_{med}$ .

### 3.7 ESTUDOS E PROJETOS

Para o estudo e projeto de uma aproveitamento hidrelétrico, existem normas, diretrizes e critérios, que seguem a legislação vigente no país, e devem ser aderidas de acordo com as etapas do estudo. Tais etapas são constituídas pela elaboração de inventários de diversos setores, estudos de viabilidade e o projeto executivo. Dentre os estudos há levantamentos cartográficos, topográficos, ambientais, entre outros, que devem ser feitos para a aprovação de um projeto (PEREIRA, 2015).

Para a construção de uma PCH não é requerido o estudo de viabilidade e a licitação (ANEEL, 2008). Após a finalização do inventário, o projeto básico passa por uma avaliação

da ANEEL, que delibera sobre a concessão de autorização para a instalação (ANEEL, 2008).

### 3.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste foi apresentada a geração hidráulica. Detalhou-se a sequência de transformação de energia nesse sistema e suas principais partes constituintes, além de abordar as formas de enquadramento de um aproveitamento elétrico. Por sua vez, o aproveitamento elétrico é sujeito aos critérios de outorga de uso da água, o que ceifa grande parte da vazão do curso d'água, e as perdas de carga, que fazem parte de todo sistema real e impactam o montante de energia gerada final.

Para o sistema turbina-gerador, destacou-se a importância da turbina para a produção de energia e de uma boa especificação para o melhor aproveitamento das condições de geração do local. Por fim, apresentou-se um dos métodos para a determinação da viabilidade técnico-econômica do aproveitamento e os estudos e projetos necessários para a implementação do mesmo.

## 4 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo será caracterizada a instalação que será objeto de estudo. Trata-se de uma estrutura, já existente, de um antigo aproveitamento hidráulico localizado no Campo Experimental José Henrique Bruschi (CEJHB) da Embrapa Gado de Leite, situado na cidade mineira de Coronel Pacheco (Anexo A).

### 4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA

A Embrapa Gado de Leite teve sua origem a partir de 1974 quando, um ano e meio após a fundação da Embrapa, criou-se o Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite. Sua sede é localizada na Fazenda Água Limpa, na cidade de Coronel Pacheco, zona da mata mineira, onde funcionava a antiga Estação Experimental de Café do Departamento Nacional de Pesquisa e Experimentação Agropecuária (LEITE, 19-?b).

No ano de 1996, o Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite passou a ser chamado de Embrapa Gado de Leite. Em 1997, a então sede foi realocada na cidade de Juiz de Fora, em Minas Gerais. A antiga sede, por sua vez, passou a ser o Campo Experimental José Henrique Bruschi (LEITE, 19-?b).

Figura 11 – Campo Experimental José Henrique Bruschi.



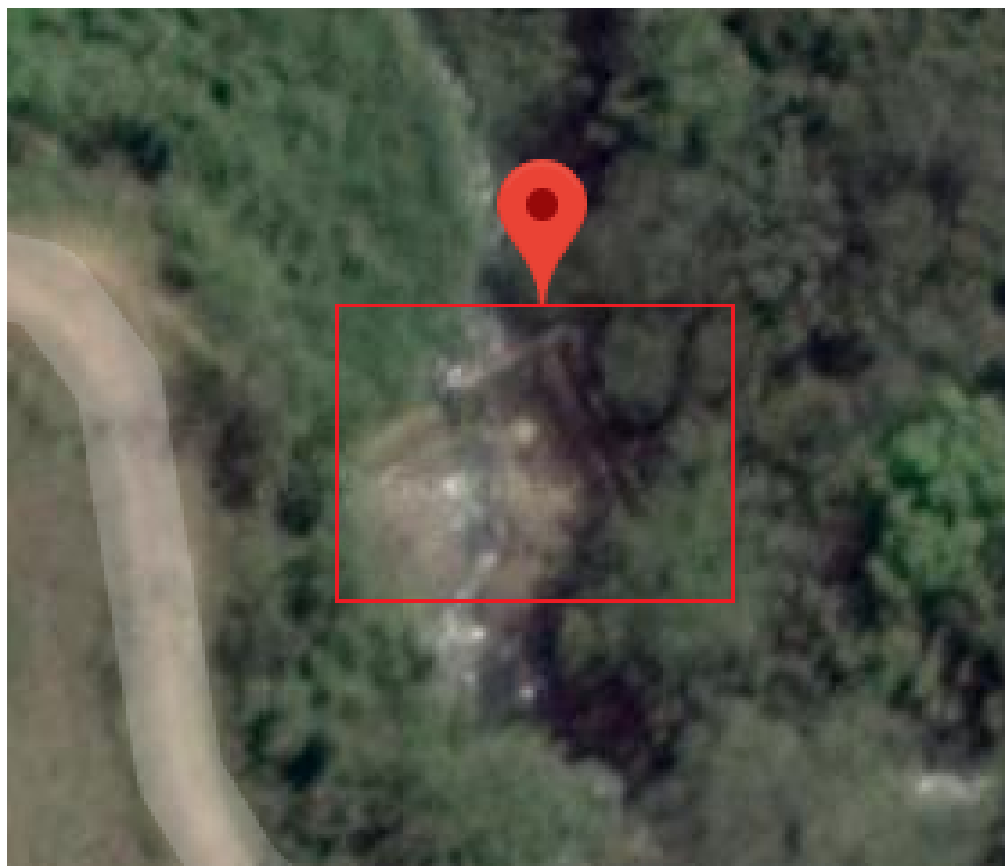
Fonte: Adaptado de (LEITE, 19-?a).

Quanto à estrutura de estudo, segundo (SILVA, 2017), que baseou-se em histórias não documentadas, é datada em meados da década de 30, quando o campo experimental era uma fazenda produtora de café. Entretanto, não há informações quanto à potência instalada, data de construção e tempo de operação e desativação da mesma.

## 4.2 CARACTERÍSTICAS DA INSTALAÇÃO

A antiga instalação adutora localiza-se no Ribeirão de Santo Antônio, região norte do cidade de Coronel Pacheco, que percorre o CEJHB, próximo as coordenadas  $21^{\circ}33'04,3''S$   $43^{\circ}17'16,2''W$ , a 474 m de altitude (PEREIRA, 2017, SILVA, 2017). A Figura 12 mostra a visão aérea da barragem.

Figura 12 – Visão Aérea da Barragem.



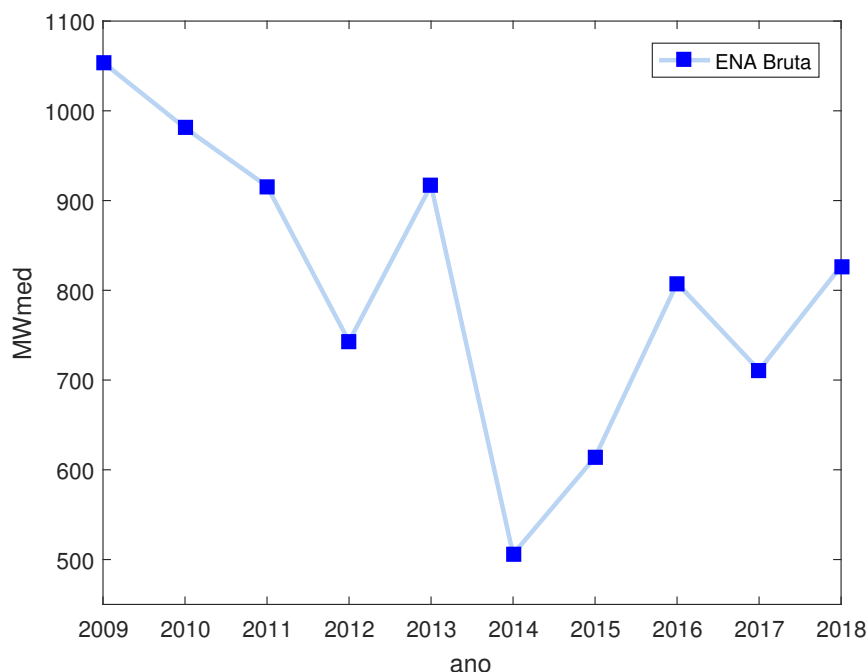
Fonte: Autora, adaptado de Google Maps, baseado em (SILVA, 2017).

### 4.2.1 Hidrologia

O Ribeirão Santo Antônio é pertencente à bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, vista na Figura 13, e é afluente do Rio Novo, tributário do Rio Pomba (PEREIRA, 2017).



Figura 14 – ENA Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.



Fonte: Autora, adaptado de (ONS, 19-?a).

Atualmente, essa estrutura faz parte do sistema de irrigação do CEJHB durante os períodos de cheia do Ribeirão, sendo alvo de manutenções e melhorias, quando necessário. Ressalta-se que não há um sistema de bombeamento e a água escoar para a sua lavoura de destino por ação da gravidade.

#### 4.2.2 Estrutura Física

A estrutura conta com uma barragem, que possui duas comportas, relativamente novas, presentes na Figura 15: a primeira localizada na entrada do canal e a segunda no curso do rio. O fluxo percorre um trajeto de 303,70 m de extensão, a partir da entrada da barragem, sendo que desse total 58,50 m corresponde a uma manilha de concreto e o restante a um canal livre com estrutura também em concreto, Figura 16. Ao fim deste trajeto, há um sistema de decantação e uma tubulação de ferro fundido, com 74,00 m de comprimento e um desnível de 33,00 m, Figura 17. Há um desnível de 1,08 m entre a entrada da barragem e a entrada da tubulação, perfazendo um desnível total de 34,08 m. Não há uma casa de força, portanto não há nenhum equipamento para a produção de eletricidade (SILVA, 2017). Maiores detalhes sobre o trajeto do canal e do seu perfil topográfico podem ser obtidos nos Anexo B e Anexo C, respectivamente.



Figura 15 – Visão Frontal da Barragem.



Fonte: Adaptado de (SILVA, 2017).

Figura 16 – Visão Canal Livre.



Fonte: Adaptado de (SILVA, 2017).



Figura 17 – Visão Superior da Tubulação.



Fonte: Adaptado de (SILVA, 2017).

#### 4.2.3 Vazão

A vazão estimada para este ribeirão, de acordo com os estudos realizados em (PEREIRA, 2017), baseia-se em cálculos de regionalização das vazões, utilizando a série histórica dos anos de 1964 a 2016, ajustados pela distribuição de Weibull, da estação fluviométrica Tabuleiro, localizada no Rio Formoso, próximo ao Ribeirão de Santo Antônio. Os valores calculados estão expostos na Tabela 7.

Tabela 7 – Vazões do Ribeirão de Santo Antônio.

Período	Vazão [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]
$Q_{7,10_{seco}}$	0,0611
$Q_{7,10_{úmido}}$	0,0920
$Q_{7,10}$	0,0761
$Q_{90}$	0,2270
$Q_{95}$	0,1963
$Q_{max10}$	2,4247

Fonte: (PEREIRA, 2017).

Descrevendo-se as vazões citadas na Tabela 7, tem-se (PEREIRA, 2017, 2015):

- $Q_{7,10}$ : vazão mínima média calculada em um horizonte de sete dias consecutivos para um período de recorrência de 10 anos. Pode ser calculada tanto para o período seco e úmido,  $Q_{7,10_{seco}}$  e  $Q_{7,10_{úmido}}$ , respectivamente;
- $Q_{90}$ : vazão permanente em 90 % do tempo;

- $Q_{95}$ : vazão permanente em 95 % do tempo; e
- $Q_{max10}$ : vazão máxima anual para um horizonte de 10 anos.

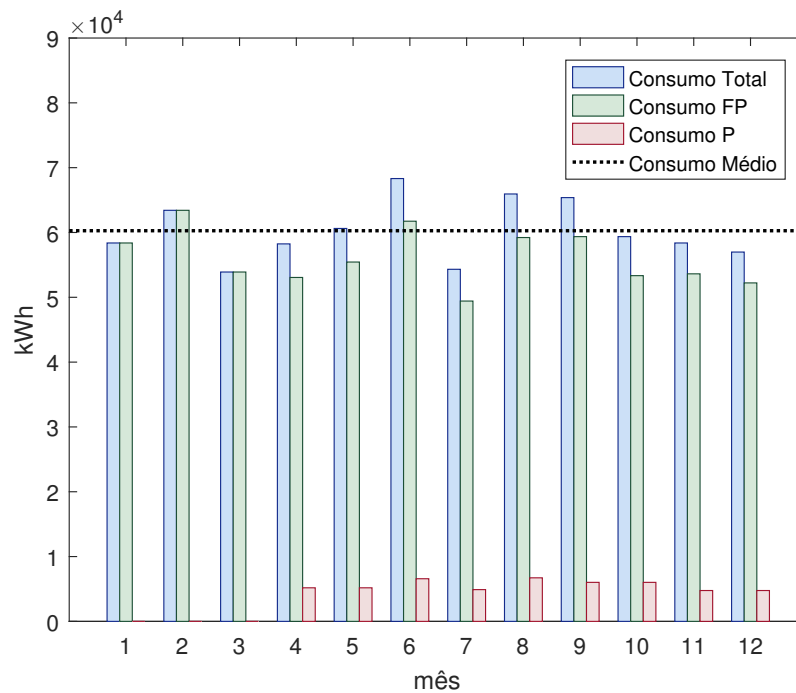
Quanto aos períodos hidrológicos citados acima, tem-se (CEMIG, 19-?b):

- Período seco: é o período estiagem. Para a região sudeste, se estende entre os meses de Maio à Novembro; e
- Período úmido: é o período chuvoso. Para a região sudeste, se estende entre os meses de Dezembro à Abril.

#### 4.3 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO CEJHB

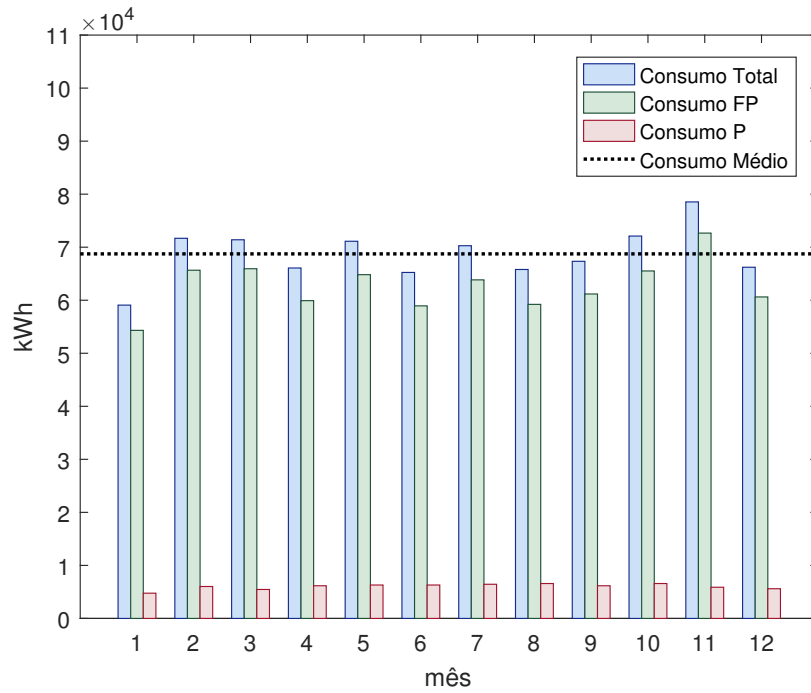
Utilizando-se dos dados fornecidos pelo setor de infraestrutura e logística da empresa, detalhados no Apêndice A, levantou-se as Figuras 18 a 22, através do *software* MatLab, que mostram o perfil de consumo da fazenda durante os meses do ano e a média anual de consumo. Levantou-se, também, a Tabela 8, que apresenta um comparativo de consumo de energia e o valor pago à companhia energética entre os anos.

Figura 18 – Consumo Ano 2014.



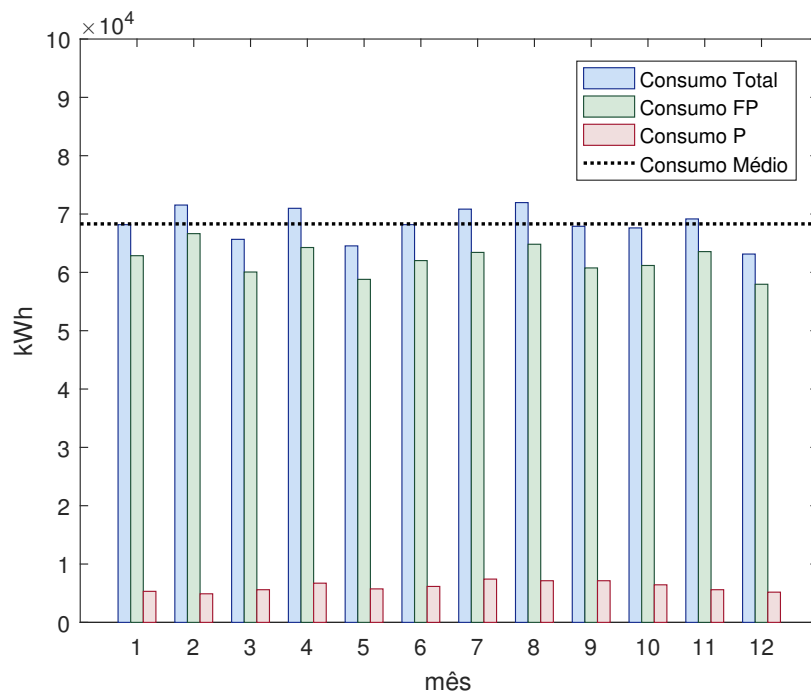
Fonte: Autora

Figura 19 – Consumo Ano 2015.



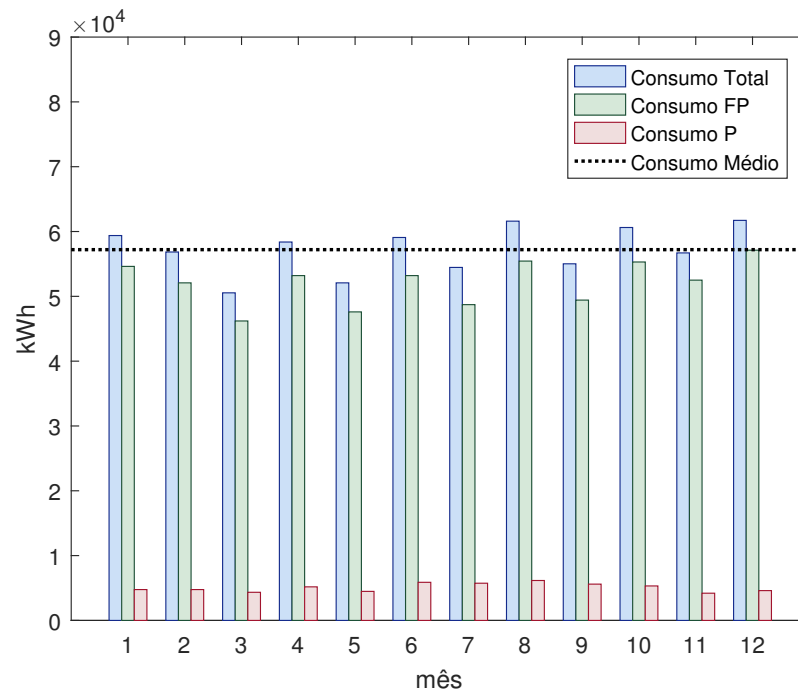
Fonte: Autora.

Figura 20 – Consumo Ano 2016.



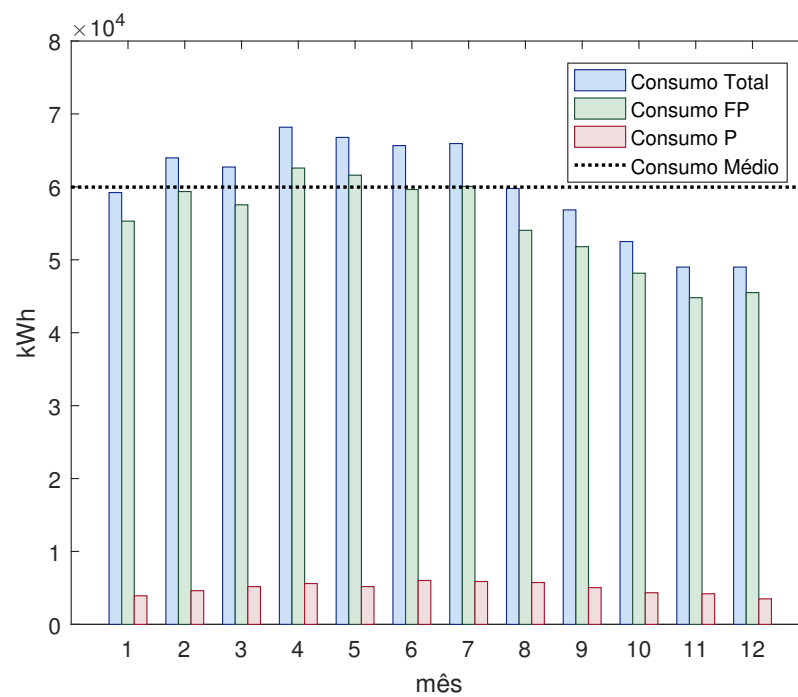
Fonte: Autora.

Figura 21 – Consumo Ano 2017.



Fonte: Autora.

Figura 22 – Consumo Ano 2018.



Fonte: Autora.

Tabela 8 – Comparativo do Consumo e Faturamento Anual.

<b>Ano</b>	<b>Consumo [kWh]</b>	<b>Bandeiras [R\$]</b>	<b>Total Fatura R\$</b>
2014	723.240,0	-	247.408,06
2015	824.880,0	-	426.202,15
2016	819.700,0	-	419.367,75
2017	686.420,0	18.910,55	347.401,58
2018	719.600,0	21.728,21	388.321,12
Média	754.768,0	20.319,38	365.740,13

Fonte: Autora.

Tabela 9 – Comparativo do Consumo e Faturamento Mensal.

<b>Ano</b>	<b>Consumo [kWh]</b>	<b>Bandeiras [R\$]</b>	<b>Total Fatura R\$</b>
2014	60.270,0	-	20.617,34
2015	68.740,0	-	35.516,85
2016	68.308,33	-	34.947,31
2017	57.201,67	1.575,88	28.950,13
2018	59.966,66	1.810,68	32.360,09
Média	62.897,33	1.693,28	30.478,34

Fonte: Autora.

Analisando as Tabelas 8 e 9, nota-se que o consumo de energia da fazenda reduziu, se comparado ao ano de 2014, no qual ocorreu a crise hídrica. Tal redução pode ter sido resultado de ações internas para o uso mais eficiente de energia e redução do consumo. Devido ao preço da energia praticado, não apresentou redução na fatura de energia, porém o montante pago foi menor do que seria no cenário de consumo antigo da fazenda. Destaca-se, a partir do ano de 2017, a cobrança das bandeiras tarifárias.

#### 4.3.1 Características do Consumidor

A fazenda é classificada como classe rural, subclasse agropecuária rural e modalidade tarifária verde A4. O fornecimento de energia é realizado através de um sistema de 13.8 kV, como exposto no Anexo D.

O faturamento do consumo acontece todo dia 15 e os valores apresentados nas tabelas, vistas no Anexo D, já estão acrescidos de impostos (ICMS, PASEP e CONFINS) e, a partir do ano de 2016, com desconto rural (alíquota de 18 % do ICMS).

## 4.4 DADOS DE PROJETO

### 4.4.1 Altura e Vazão de Projeto

Como visto na seção anterior, o desnível total do canal é de 34,08 m, e como trata-se de um aproveitamento real, as perdas de carga devem ser consideradas. Considerando

uma perda de carga de 3,5 % da altura topográfica, tem-se:

$$H_P = 1,19m \quad (4.1)$$

Utilizando a Equação 3.3, calculou-se a altura do aproveitamento a ser utilizada no projeto.

$$H = 32,89m \quad (4.2)$$

Considerando as orientações para outorga do uso da água, como exposto na Seção 3.2.2, e o valor médio de  $Q_{7,10}$ , mostrado na Tabela 7, determinou-se a vazão do projeto com auxílio da Equação 3.4.

$$Q = 0,0381m^3/s \quad (4.3)$$

#### 4.4.2 Conservação e Melhorias da Instalação

O canal, de acordo com (SILVA, 2017), encontra-se em bom estado de conservação. Portanto, faz-se necessária a sua manutenção preventiva e corretiva: limpeza regular, reparo de alguns pontos da estrutura, que podem ser ou foram danificados por algumas raízes de árvores. Quanto à parte elétrica da instalação, será necessária a manutenção preventiva dos equipamentos.

#### 4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo, foi abordada a caracterização física e energética da instalação em estudo. Iniciou-se com a contextualização da origem da instalação e sua localização, e discorreu sobre a hidrologia do local e a estrutura física. Um estudo do consumo elétrico foi realizado e caracterização do consumidor em análise. Finalizou-se com os dados a serem utilizados no estudo de projeto.

## 5 ESTUDO ENERGÉTICO

Conhecendo a vazão e altura de projeto, vistos na seção anterior, é possível realizar estimativas sobre a geração da usina e, dessa forma, calcular o possível retorno financeiro do aproveitamento hidráulico. Assim, será abordado nesse capítulo a estimativa de potência e energia que pode ser extraída da potencialização da estrutura abordada no Capítulo 4, e a vazão mínima necessária para o suprimento de todo o consumo da CEJHB.

Neste trabalho, será considerado o melhor cenário de geração possível, sendo este, afluência constante e alta, sem grandes variações na queda do aproveitamento, e as máquinas operando de forma constante e eficiente, ou seja, com ventilação e controle de temperatura adequados, turbinando a água mais limpa o possível, e sem parada da máquina devido a faltas internas do sistema.

### 5.1 ESTIMATIVA DE GERAÇÃO E RECEITA

Aplicando-se os valores de vazão e altura de projeto e as eficiências típicas de turbinas e geradores na Equação 3.6, sendo o peso específico da água igual a  $9810 \text{ N/m}^3$ , determinou-se a potência do aproveitamento hidráulico em:

$$P = 10,83 \text{ kW} \quad (5.1)$$

Assumindo um cenário ótimo de geração, no qual a vazão de projeto é mantida durante todas as horas do dia, e aplicando a Equação 3.2 para um horizonte de tempo de 30 dias consecutivos (1 mês), a energia máxima disponível para consumo será de:

$$E = 7.795,64 \text{ kWh} \quad (5.2)$$

Utilizando o valor da tarifa de energia para o mês de maio, visto no Anexo E, para um consumidor verde A4, com alíquota de 18 %, e considerando que a maior parte da energia consumida pela instalação ocorre no período fora-ponta, como pode ser observado através das Figuras 18 a 22, têm-se o quanto esta energia poderia ser faturada.

$$\text{Receita} = R\$3.313,58 \quad (5.3)$$

### 5.2 ESTIMATIVA DE INVESTIMENTO

Para analisar a viabilidade de um projeto, é uma boa prática comparar o preço do produto no mercado e o preço que sua empresa consegue produzir. Baseando-se nessa premissa e aplicando a Equação 3.7, poderia-se apresentar uma estimativa de quanto

seria o investimento necessário para a construção dessa instalação, de forma ainda a manter a viabilidade do empreendimento. Entretanto, nem todos os dados necessários estão disponíveis neste momento, o que impossibilita o cálculo de uma estimativa de investimento.

Dos dados disponíveis, têm-se os seguintes valores, de acordo com os recomendados em (PEREIRA, 2015):

- CE: o custo da energia gerada por essa usina, que deve ser menor ou igual ao valor praticado pela concessionária de energia;
- FRC: o fator de recuperação de capital para um horizonte de tempo de investimento de 30 anos e uma taxa de retorno de 12 % é 0,1241 a.a., típicos de empreendimentos na área elétrica;
- O&M: o custo de operação e manutenção para uma PCH, estimado em 10 R\$/kWh; e
- Eg: a energia gerada, calculada baseando-se nas relações anteriores, para um horizonte de tempo de 8760 h (1 ano).

Logo, é fundamental a determinação do valor da energia firme ( $E_f$ ) do empreendimento, que é a energia assegurada no período crítico para a geração. Entretanto, devido aos poucos dados de vazão para o ribeirão, não é possível estimar este valor.

### 5.3 ESTIMATIVA DE VAZÃO IDEAL

Abordando este estudo por uma outra perspectiva, tem-se o caso de todo o consumo da fazenda ser suprido pela geração hidráulica própria. Neste caso, faz-se necessária a quantificação de uma vazão mínima ideal para que este cenário seja atingido. Realizando um estudo reverso da energia e potência gerada, Equação 3.2 e Equação 3.6 respectivamente, usando os dados do consumo médio anual, mostrado na Tabela 8, a altura de projeto, calculada em Equação 4.2, e os valores de eficiência para a turbina e gerador apresentados previamente, a vazão necessária seria de:

$$Q_{7,10_{min}} = 0,6056m^3/s \quad (5.4)$$

### 5.4 CARACTERIZAÇÃO DO APROVEITAMENTO

Devido ao valor de potência calculada, a instalação, de acordo com Tabela 6, seria considerada uma microcentral geradora hidráulica com queda d'água média. Através da Figura 9, os pontos operativos deste aproveitamento encontram-se inseridos na região operativa das turbinas Michell-Banki, Francis e Pelton.



## 5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Este capítulo propôs o estudo energético do aproveitamento. Logo, estimou-se a geração elétrica e a receita que poderia ser obtida do mesmo, para os dados de projeto determinado no Capítulo 4, caso haja potencialização do ribeirão. Ainda, foi abordado o valor do investimento necessário para tal potencialização. Com isso, foi possível caracterizar o aproveitamento, para as condições de projeto.

Com base nos dados de consumo da fazenda, quantificou-se qual a vazão ideal para suprir este consumo, dessa forma, reduzindo a dependência da concessionária de energia e aumentos da tarifa de energia.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Comparando os valores de geração obtidos, expostos na Equação 5.2 e Equação 5.3, com os valores médios apresentados na Tabela 9, conclui-se que a geração hidráulica própria representaria 12,39 % do consumo mensal de energia e 10,87 % da fatura.

Quanto ao valor de vazão mínima ideal,  $Q_{7,10,min}$ , estimada na Equação 5.4, se comparado aos valores apresentados na Tabela 7, o valor calculado é 7,96 vezes maior que o  $Q_{7,10}$  real, porém apenas 24,98 % da  $Q_{max10}$ . Entretanto, esse valor é 2,67 vezes maior que a  $Q_{90}$  e 3,08 vezes maior que a  $Q_{95}$ , o que diz que essa vazão, nas condições apresentadas, não seria alcançável.

De acordo com os valores encontrados neste trabalho, embasados pelos dados disponíveis em (PEREIRA, 2017) e (SILVA, 2017), apesar da fazenda possuir parte da estrutura necessária para uma geração hidráulica, o impacto energético e financeiro da ativação da mesma, como produtora de energia elétrica, no consumo e faturamento final não seria grande, deixando a fazenda majoritariamente dependente do fornecimento externo.

Entende-se que o investimento em sistemas alternativos de energia é um empreendimento com retorno a longo prazo e que, por isso, deve ser cautelosamente estudado. Entretanto, como destacado no escopo deste trabalho, o Brasil ainda é extremamente dependente das usinas hidrelétricas e termelétricas. Esta última, além do seu uso para suprir a demanda interna de energia, é cada vez mais requisitada para compensar a parcela de eletricidade que deveria ser produzida a partir da fonte hídrica, que nos últimos anos vem sendo afetada pela intermitência das chuvas.

Uma alternativa para mitigar, até mesmo cessar, os efeitos deste cenário energético, que subsidia esse crescimento dos preços da tarifa de energia e das bandeiras tarifárias, é a produção de energia para uso próprio.

Dessa forma, considerando a produção de energia a longo prazo e a tendência de ajustes no preço da tarifa da mesma, em relação aos valores atuais, que tem sido reajustado positivamente, qualquer parcela do consumo energético de uma instalação que possa ser suprida de forma independente da concessionária de energia deve ser analisada através de um estudo de viabilidade técnica e econômica. No caso de viabilidade positiva, a produção própria atuaria a fim de reduzir a exposição do consumidor a tais cenários econômicos, mesmo nos casos pessimistas de afluência.

### 6.1 TRABALHOS FUTUROS

Destaca-se como possibilidade para estudo futuro, o levantamento da série histórica do Ribeirão de Santo Antônio, possibilitando, dessa forma, a validação dos valores de vazão utilizados nesse trabalho.

Sugere-se, também, pesquisas relacionadas a conjuntos de turbinas e geradores específicos para pequenos empreendimentos, o que não foi possível realizar neste trabalho, devido à dificuldade de se obter maiores informações sobre a tecnologia e investimentos. Além de um estudo de viabilidade do aproveitamento considerando as condições de projeto presente neste trabalho.

Outra opção a ser considerada é investir em energia solar térmica e solar fotovoltaica, aproveitando os telhados dos prédios da fazenda ou espaços ociosos e sem previsão de uso. Estas podem ser utilizadas em conjunto com a unidade termoelétrica, já existente, baseada na queima do biogás produzido através dos rejeitos dos animais da fazenda.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. *NBR 6445: Turbinas Hidráulicas, turbinas-bombas e bombas de acumulação*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2016.
- F. AMATO. *Nível de água em hidrelétricas de Sudeste e Centro-Oeste fica abaixo da média pelo 5º ano consecutivo*. G1, Brasília, 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/>. Acesso em: 18 mai. 2019.
- ANA. *Bacia do Rio Paraíba do Sul*. Agência Nacional das Águas, 19-?. Disponível em: <http://gripbsul.ana.gov.br/Hidrografia.html>. Acesso em: 18 fev. 2018.
- ANEEL. *Atlas da Energia Elétrica do Brasil*. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília, 2005.
- ANEEL. *Atlas da Energia Elétrica do Brasil*. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília, 2008.
- ANEEL. *Resolução Normativa Nº673, de 4 de Agosto de 2015*. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília, 2015a.
- ANEEL. *Programa de Incentivo às Fontes Alternativas*. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2015b. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/proinfra>. Acesso em: 24 abr. 2019.
- ANEEL. *Bandeira Tarifárias*. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2015c. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias>. Acesso em: 26 jan. de 2018.
- ANEEL. *ANEEL atualiza metodologia de acionamento das bandeiras tarifárias*. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2018. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa>. Acesso em: 21 mai. de 2018.
- D. F. CARVALHO. *Usinas Hidroelétricas: Turbinas*. FUMARC/PUC-MG, Belo Horizonte, 1982.
- CEMIG. *Tarifas e Simulações: Tarifas e Tributos*. Companhia Energética de Minas Gerais, 19-?a. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/corporativo/Paginas/tarifas.aspx>. Acesso em: 09 mai. 2019.
- CEMIG. *Glossário*. Companhia Energética de Minas Gerais, 19-?b. Disponível em: <http://ri.cemig.com.br/static/ptb/glossario.asp?idioma=ptb#p>. Acesso em: 16 mai. 2019.
- G. A. CERQUEIRA et al. *A Crise Hídrica e suas Consequências*. Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado (Boletim do Legislativo nº 27, de 2015), 2015. Disponível em: [www.senado.leg.br/estudos](http://www.senado.leg.br/estudos). Acesso em: 24 abr. 2019.

- ELETROBRÁS. *Dicionário da Energia Elétrica*. Companhia Energética de Minas Gerais, 19-?. Disponível em <https://eletrobras.com/pt/Paginas/Dicionario-da-Energia-Eletrica.aspx>. Acesso em: 05 jun. 2019.
- ELETROBRÁS. *Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas*. ELETROBRÁS, Rio de Janeiro, 1999.
- EPE. *Balanço Energético Nacional 2018: Ano Base 2017*. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, 2018a.
- EPE. *Relatório Síntese: Ano Base 2017*. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, 2018b.
- E. A. L. HENN. *Máquinas de Fluido*. Editora da UFSM, Rio de Santa Maria, 2006.
- INEE. *O Que é Geração Distribuída*. Instituto Nacional de Eficiência Energética, 19-?. Disponível em: [http://www.inee.org.br/forum\\_ger\\_distrib.asp](http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp). Acesso em: 26 jan. de 2018.
- EMBRAPA GADO DE LEITE. *Campos Experimentais*. EMBRAPA, 19-?a. Disponível em: <https://www.embrapa.br/gado-de-leite/campos-experimentais>. Acesso em: 18 fev. 2018.
- EMBRAPA GADO DE LEITE. *História*. EMBRAPA, 19-?b. Disponível em: <https://www.embrapa.br/gado-de-leite/historia>. Acesso em: 31 jan. 2018.
- ONS. *Histórico de Geração: Energia Afluyente por Bacia*. Operador Nacional do Sistema, 19-?a. Disponível em: [http://ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/energia\\_afluyente\\_bacia.aspx](http://ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/energia_afluyente_bacia.aspx). Acesso em: 18 mai. 2019.
- ONS. *Glossário: Energia Natural Afluyente*. Operador Nacional do Sistema, 19-?b. Disponível em: <http://ons.org.br/paginas/conhecimento/glossario>. Acesso em: 18 mai. 2019.
- MOGI-GUAÇU E PARDO. Plano diretor da bacia hidrográfica dos afluentes mineiros do rio mogi-guaçu e pardo. 2010.
- F. H. PEREIRA. *Aplicação de Técnicas Teóricas e Experimentais de Medição de Vazão do Ribeirão Santo Antônio – Coronel Pacheco (MG)*. TCC.Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, Juiz de Fora, 2017.
- G. M. PEREIRA. *Projeto de usinas hidrelétricas passo a passo*. Oficina de Textos, São Paulo, 2015.
- SEMAD-IGAM. *Resolução Conjunta Nº1548, de 29 de Março de 2012*. Diário do Executivo de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

- A. C. SILVA. *Estudo Prévio para Reativação de uma Central Hidrelétrica no Campo Experimental José Henrique Bruschi (Coronel Pacheco – MG)*. Relatório Final. Estágio. EMBRAPA Gado de Leite, Juiz de Fora, 2017.
- G. A. SIMONE. *Centrais e Aproveitamentos Hidrelétricos: Uma Introdução ao Estudo*. Érica, São Paulo, 2010.
- A. H. M; BORTONI E. da C. SOUZA, Z. de; SANTOS. *Centrais Hidrelétricas: Implementação e Comissionamento*. Interciência, Rio de Janeiro, 2009.
- Típica USINA, Hidrelétrica. *USINA Hidrelétrica Típica*. PCH Paracambi, 19-? Desenho. Disponível em: <http://www.pchparacambi.com.br/o-empreededor/o-que-e-uma-pch/>. Acesso em: 29 abr. 2019.

## APÊNDICE A – CONTAS DE ENERGIA

<b>Contas de Energia: Ano Referência 2014</b>							
Mês	Consumo		Demanda	Total Fatura	Bandeira		Total Pago
	hfp [kWh]	hp [kWh]			[kW]	Verm. [R\$]	
Jan	58.380,0	0	157,0	17.476,08	-	-	17.476,08
Fev	63.420,0	0	176,0	19.596,22	-	-	19.596,22
Mar	53.900,0	0	176,0	17.486,93	-	-	17.486,93
Abr	53.060,0	5.180,0	168,0	21.113,17	-	-	21.113,17
Mai	55.440,0	5.180,0	155,0	20.917,90	-	-	20.917,90
Jun	61.740,0	6.580,0	157,0	24.250,91	-	-	24.250,91
Jul	49.420,0	4.900,0	147,0	19.221,95	-	-	19.221,95
Ago	59.220,0	6.720,0	162,0	23.216,25	-	-	23.216,25
Set	59.360,0	6.020,0	147,0	22.653,06	-	-	22.653,06
Out	53.340,0	6.020,0	179,0	21.507,21	-	-	21.507,21
Nov	53.620,0	4.760,0	161,0	20.198,92	-	-	20.198,92
Dez	52.220,0	4.760,0	183,0	19.769,46	-	-	19.769,46

Fonte: Adaptado dos dados fornecidos pela Embrapa.

<b>Contas de Energia: Ano Referência 2015</b>							
Mês	Consumo		Demanda	Total Fatura	Bandeira		Total Pago
	hfp [kWh]	hp [kWh]			[kW]	Verm. [R\$]	
Jan	54.320,0	4.760,0	174,0	21.490,52	-	-	21.490,52
Fev	65.660,0	6.020,0	188,0	26.994,88	-	-	26.994,88
Mar	65.940,0	5.460,0	181,0	31.443,59	-	-	31.443,59
Abr	59.920,0	6.160,0	230,0	36.816,39	-	-	36.816,39
Mai	64.820,0	6.300,0	192,0	39.266,29	-	-	39.266,29
Jun	58.940,0	6.300,0	186,0	37.051,52	-	-	37.051,52
Jul	63.840,0	6.440,0	200,0	40.220,17	-	-	40.220,17
Ago	59.220,0	6.580,0	160,0	37.632,99	-	-	37.632,99
Set	61.180,0	6.160,0	161,0	37.825,75	-	-	37.825,75
Out	65.520,0	6.580,0	200,0	40.308,84	-	-	40.308,84
Nov	72.660,0	5.880,0	214,0	41.915,91	-	-	41.915,91
Dez	60.620,0	5.600,0	155,0	35.235,30	-	-	35.235,30

Fonte: Adaptado dos dados fornecidos pela Embrapa.

---

**Contas de Energia: Ano Referência 2016**


---

Mês	Consumo		Demanda [kW]	Total Fatura [R\$]	Bandeira		Total Pago [R\$]
	hfp [kWh]	hp [kWh]			Verm. [R\$]	Amar. [R\$]	
Jan	62.860,0	5.320,0	169,0	39.622,83	-	-	36.061,64
Fev	66.640,0	4.900,0	174,0	41.040,98	-	-	37.298,28
Mar	60.060,0	5.600,0	179,0	36.877,31	-	-	33.380,21
Abr	64.260,0	6.720,0	192,0	39.561,71	-	-	35.676,08
Mai	58.800,0	5.740,0	189,0	35.221,59	-	-	31.699,48
Jun	62.020,0	6.160,0	186,0	38.096,31	-	-	34.286,72
Jul	63.420,0	7.420,0	151,0	40.408,17	-	-	36.367,39
Ago	64.820,0	7.140,0	160,0	40.160,15	-	-	36.144,18
Set	60.760,0	7.140,0	162,0	39.201,85	-	-	35.281,71
Out	61.180,0	6.440,0	162,0	38.810,04	-	-	34.929,10
Nov	63.560,0	5.600,0	183,0	38.943,57	-	-	36.026,23
Dez	57.960,0	5.180,0	172,0	34.890,63	-	-	32.216,73

Fonte: Adaptado dos dados fornecidos pela Embrapa.

---

**Contas de Energia: Ano Referência 2017**


---

Mês	Consumo		Demanda [kW]	Total Fatura [R\$]	Bandeira		Total Pago [R\$]
	hfp [kWh]	hp [kWh]			Verm. [R\$]	Amar. [R\$]	
Jan	54.620,0	4.760,0	169,0	32.103,76	0,00	0,00	29.602,26
Fev	52.080,0	4.760,0	144,0	31.109,56	0,00	0,00	28.703,58
Mar	46.200,0	4.340,0	153,0	29.549,27	0,00	709,08	27.374,21
Abr	53.200,0	5.180,0	161,0	34.571,64	1.122,61	811,94	32.071,97
Mai	47.600,0	4.480,0	148,0	28.702,82	2.028,02	0,00	26.647,82
Jun	53.200,0	5.880,0	137,0	31.643,94	1.060,79	0,00	29.252,71
Jul	48.720,0	5.740,0	139,0	29.572,93	0,00	732,20	27.411,36
Ago	55.440,0	6.160,0	157,0	32.834,28	1.118,06	831,48	30.421,29
Set	49.420,0	5.600,0	155,0	29.679,28	1.069,74	695,23	27.498,38
Out	55.300,0	5.320,0	160,0	32.936,83	1.444,56	799,28	30.623,53
Nov	52.500,0	4.200,0	151,0	31.330,48	3.225,23	0,00	29.105,25
Dez	57.120,0	4.600,0	153,0	30.954,56	3.262,33	0,00	28.689,22

Fonte: Adaptado dos dados fornecidos pela Embrapa.

---

**Contas de Energia: Ano Referência 2018**


---

Mês	Consumo		Demanda [kW]	Total Fatura [R\$]	Bandeira		Total Pago [R\$]
	hfp [kWh]	hp [kWh]			Verm. [R\$]	Amar. [R\$]	
Jan	55.300,0	3.920,0	158,0	28.605,95	1.144,46	0,00	26.469,49
Fev	59.360,0	4.620,0	161,0	29.919,03	0,00	0,00	27.584,79
Mar	57.540,0	5.180,0	158,0	31.274,83	0,00	0,00	28.924,23
Abr	62.580,0	5.600,0	363,0	36.118,24	0,00	0,00	33.354,64
Mai	61.600,0	5.180,0	164,0	31.859,99	0,00	424,70	29.393,94
Jun	59.640,0	6.020,0	164,0	38.502,79	1.993,66	424,95	35.632,70
Jul	60.060,0	5.880,0	181,0	46.003,07	4.408,89	0,00	42.892,68
Ago	54.040,0	5.740,0	144,0	42.999,35	4.093,93	0,00	40.158,89
Set	51.800,0	5.040,0	146,0	37.785,31	3.643,57	0,00	35.122,27
Out	48.160,0	4.340,0	137,0	33.801,56	3.302,26	0,00	31.377,20
Nov	44.800,0	4.200,0	123,0	31.752,65	1.650,63	311,83	29.478,81
Dez	45.500,0	3.500,0	134,0	30.135,94	0,00	329,33	27.931,48

Fonte: Adaptado dos dados fornecidos pela Embrapa.



## ANEXO A – DECLARAÇÃO DE AUTORIZAÇÃO

### DECLARAÇÃO DE AUTORIZAÇÃO

Declaro para os devidos fins, que a estudante Mariana de Oliveira Novais Teixeira, CPF 104.670.276-92, possui autorização para divulgar o nome da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, bem como os dados e informações não confidenciais, na elaboração de seu Trabalho de Conclusão do Curso, apresentado na Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Eletricista.

Juiz de Fora, 24 de abril de 2019.

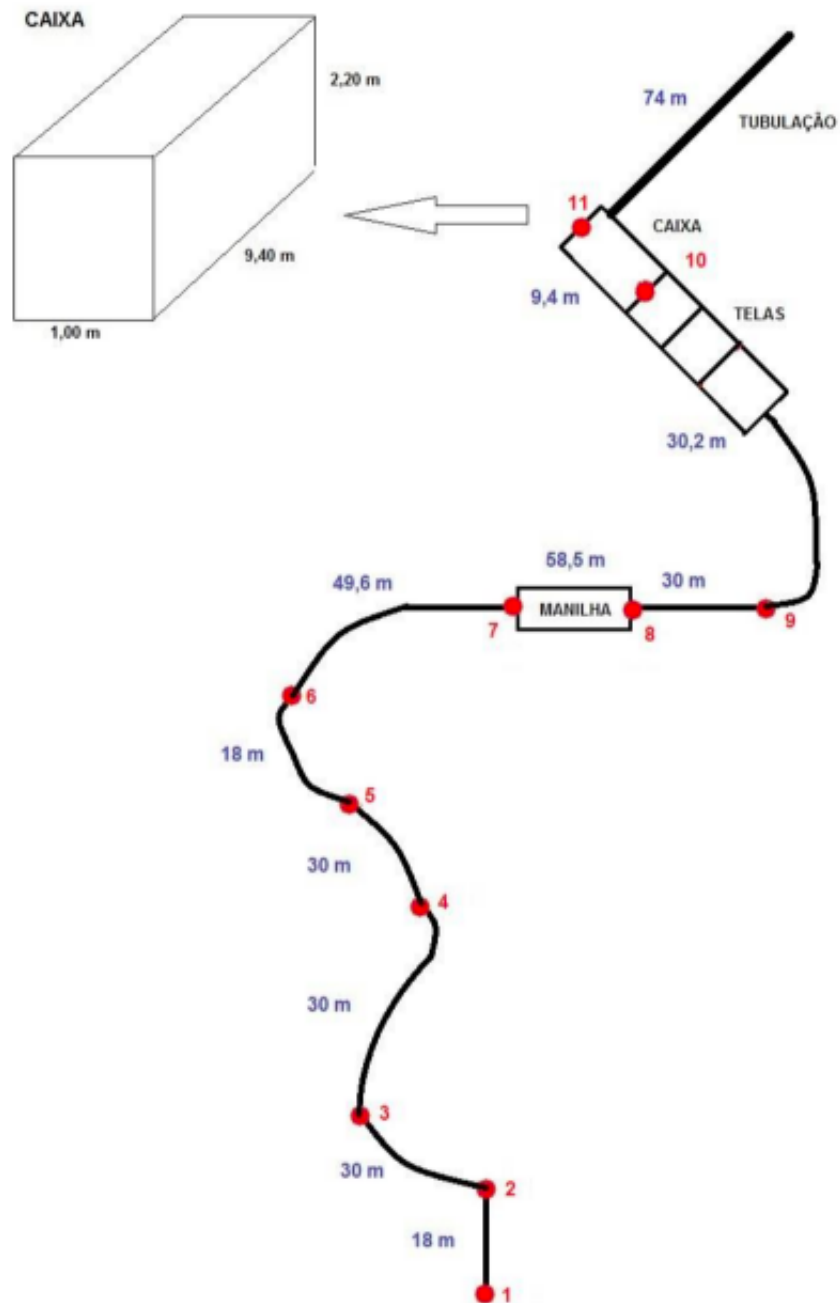


**José Roberto Ferreira**  
Chefe-Geral em Exercício  
Embrapa Gado de Leite

(assinatura responsável da empresa e carimbo)

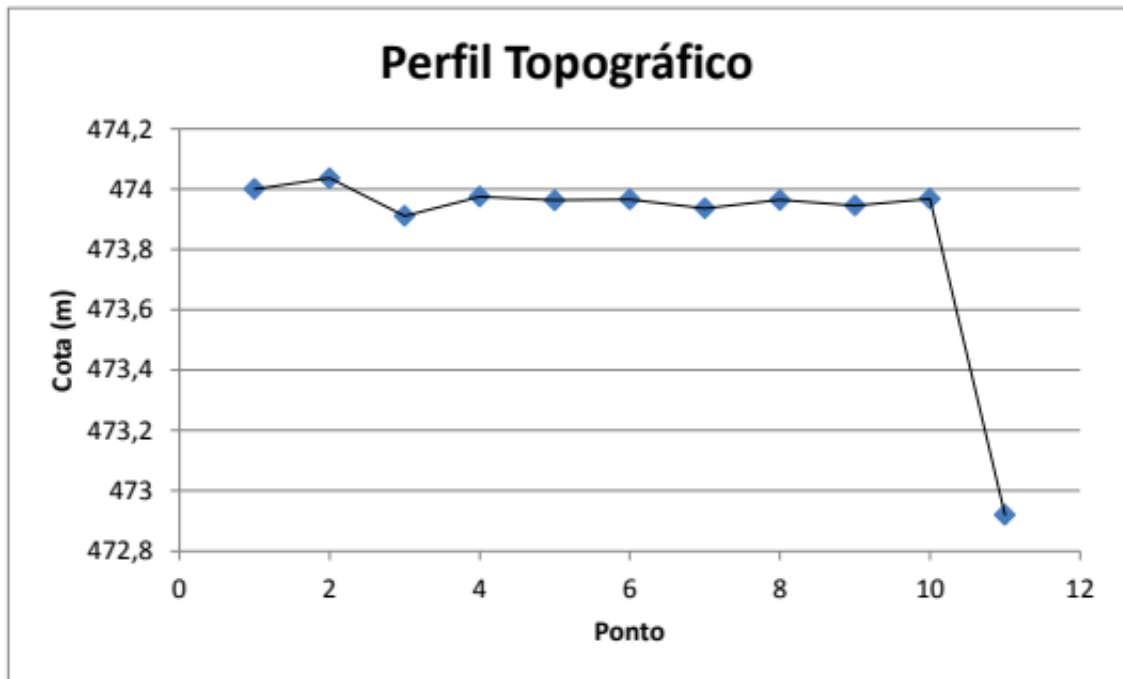
CPF: 330.932.616-00

## ANEXO B – DETALHES DO COMPRIMENTO DO CANAL



Fonte: SILVA (2017).

## ANEXO C – PERFIL TOPOGRÁFICO DO CANAL



Fonte: SILVA (2017).

## ANEXO D – CARACTERÍSTICAS DO CONSUMIDOR

<b>Classe</b> Rural	<b>Subclasse</b> Agropecuária Rural	<b>Datas de Leitura</b>		
		Anterior	Atual	Próxima
		15/12	15/01	15/02
<b>Modalidade Tarifária</b> THS Verde A4		<b>Informações Téc</b>		

Fonte: Extraído da conta de energia fornecido pela Embrapa

## ANEXO E – VALORES DA TARIFA DE ENERGIA

A4 VERDE - 13,8 KV					
SEGMENTO	UNIDADE	TARIFAS RESOLUÇÃO Nº 2.396/2018	Tarifas com PASEP/COFINS e ICMS (18%)	Tarifas com PASEP/COFINS e ICMS (25%)	
DEMANDA ÚNICA	R\$/KW	14,59	18,63337936	20,46273459	
CONSUMO PONTA	R\$/MWh	1553,33	1983,80994975	2178,57296232	
CONSUMO FORA PONTA	R\$/MWh	332,62	425,05561	466,78597	

Fonte: CEMIG (19-?a).