



# **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016*  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

VINICIUS FACUNDES DE SOUSA

PROJETO DE UMA CENTRAL GERADORA HIDRELÉTRICA EM UMA  
PROPRIEDADE RURAL NO MUNICÍPIO DE GURUPI-TO

Palmas – TO

2017

VINICIUS FACUNDES DE SOUSA

PROJETO DE UMA CENTRAL GERADORA HIDRELÉTRICA EM UMA  
PROPRIEDADE RURAL NO MUNICÍPIO DE GURUPI-TO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Msc. Carlos Spartacus da Silva Oliveira.

Palmas – TO

2017

VINICIUS FACUNDES DE SOUSA

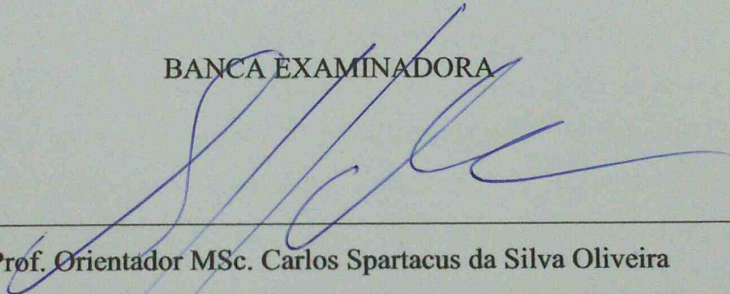
PROJETO DE UMA CENTRAL GERADORA HIDRELÉTRICA EM UMA  
PROPRIEDADE RURAL NO MUNICÍPIO DE GURUPI-TO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e  
apresentado como requisito parcial para obtenção do  
título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro  
Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Msc. Carlos Spartacus da Silva Oliveira.

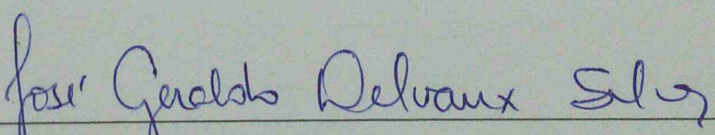
Aprovado em: 17/11/2017

BANCA EXAMINADORA



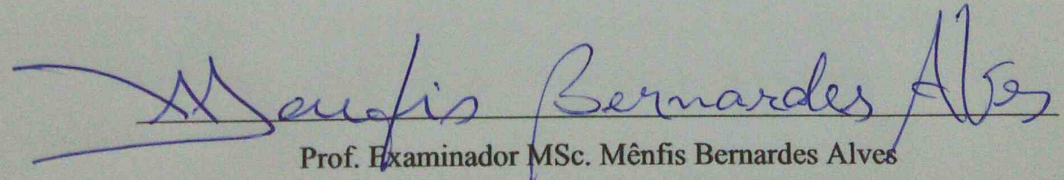
---

Prof. Orientador MSc. Carlos Spartacus da Silva Oliveira  
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



---

Prof. Examinador Dr. José Geraldo Delvaux Silva  
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



---

Prof. Examinador MSc. Mênfis Bernardes Alves  
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2017

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais, Antonio Facundes e Maria Helena Facundes, minha irmã Fernanda, minha futura noiva Gyzelly e todos os amigos.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por ter me confiado esta missão e me permitir está completando mais esta etapa na minha vida, sempre na sua graça, com saúde, paz, amor e proteção, também agradeço por estar recebendo mais um dom com a conclusão do curso, que é o de ser Engenheiro Civil.

Tenho muito a agradecer aos meus pais, que sempre me apoiaram e motivaram, sempre muito presentes e que me ensinaram a ser forte e persistente. Obrigado pai (Antonio Senhor Facundes da Silva) e mãe (Maria Helena de Sousa Facundes) por todos os valores que me ensinaram, a pessoa que me tornei e tudo que hoje sou agradeço a vocês.

Agradeço muito a minha irmã (Fernanda Facundes de Sousa) que sempre me apoiou e segurou firme a responsabilidade de cuidar de nossos pais na minha ausência, nela vem a minha maior inspiração, é um exemplo de força, dedicação, compaixão, fé, e inteligência, tenho certeza que terá um futuro brilhante.

Obrigado a todos que acreditaram no meu potencial, em especial a minha namorada (Gyzelly Alves de Carvalho) que também sempre me apoiou e me acompanhou em todas as minhas decisões, sempre com muito carinho, amor, muita paciência e compreensão entendeu minha ausência nesses quatro anos juntos, sua ajuda foi de extrema importância e fundamental para a minha formação. Gy, Nanda, Pai e Mãe, vocês formam a minha base e são tudo que eu tenho de mais importante e valioso na vida, obrigado por tudo, essa vitória também pertence a vocês.

Agradeço a toda minha família, em especial ao meu primo Adriano Fuentes por ceder sua propriedade para o estudo e desenvolvimento deste trabalho, aos tios (Deusian e Francineide) pelo apoio financeiro, aos tios (Batista e Dionísia) e (Dário e Maria Hilária) por me receberem com muito carinho em seus lares.

Agradeço aos amigos e companheiros de estudo Rangel Coelho, Renato Rama, Jessika Rama, Rafael Fonseca, José Kayk, Carlos Henrique de Melo, Kaic Miquéias, Matheus Heinrik e Fagner Sampaio, cada um contribuiu de alguma forma, agradeço por todo o apoio, companheirismo e o compartilhamento de conhecimentos.

Por fim, agradeço a todos os professores que contribuíram para a minha formação profissional, em especial aos excelentes profissionais MSc. Carlos Spartacus, Dr. José Geraldo Delvaux, MSc. Mênfis Bernardes, MSc. Roldão Pimentel, Dra. Elisabeth Hernández, MSc. Edivaldo Alves e a Coordenadora Kênia Parente que com a convivência e troca de experiências adquiri a segurança que tenho hoje. Obrigado a todos.

## RESUMO

**FACUNDES, V. S. PROJETO DE UMA CENTRAL GERADORA HIDRELÉTRICA EM UMA PROPRIEDADE RURAL NO MUNICÍPIO DE GURUPI-TO.** 2017, 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Luterano de Palmas CEULP/ULBRA, Palmas –TO.

O presente trabalho tem a finalidade de elaborar um projeto e verificar a viabilidade e tempo de retorno do investimento de uma central geradora hidrelétrica (CGH) para a geração de energia a uma propriedade localizada na zona rural do município de Gurupi-TO. A propriedade dispõe de um barramento no córrego Água Franca formado um represamento onde tem fluxo de água constante. Foram feitas entrevistas e levantamento de dados a fim de identificar a demanda de energia elétrica da propriedade e dados hidrológicos, tais como: precipitação, área da bacia, vazão e altura de queda d'água. O levantamento de demanda de energia elétrica identificou um grande consumo variando em média 2300 kWh por mês, devido à utilização de equipamentos de grande potência como: bombas, trituradores, jato de água e resfriadores. O resultado do estudo hidrológico identificou um pequeno potencial para a geração de energia elétrica, que são justificados mediante os dados obtidos de área da bacia de 1,61 km<sup>2</sup>, vazão direta de 26,0 l/s e altura de queda d'água de 6,5 metros. Os cálculos de determinação de potência final resultou em 1,21 kWh, que não seria capaz de suprir a demanda total da propriedade. Diante disso foram separados os equipamentos de menor potência para ser atendido pela CGH. Com a instalação da central geradora hidrelétrica, embora, não suprindo toda a demanda da propriedade, obteve uma economia de 35% do valor pago na conta de energia elétrica e o valor investido terá retorno para o investido em aproximadamente quatro anos.

Palavras-Chave: Central Geradora Hidrelétrica, CGH, demanda de energia elétrica, determinação de potência, tempo de retorno.

## ABSTRACT

FACUNDES, V. S. **DESIGN OF A HYDROELECTRIC GENERATION CENTER ON A RURAL PROPERTY IN THE MUNICIPALITY OF GURUPI-TO.** 2017, 60 f. Course Completion Work (Graduation in Civil Engineering) - Lutheran University Center of Palmas CEULP/ULBRA, Palmas -TO.

The present work has the purpose of elaborating a project and verifying the feasibility and time of return of the investment of a hydroelectric generating plant (CGH) for the generation of energy to a property located in the rural area of the municipality of Gurupi-TO. The property has a barrage in the Água Franca stream formed a dam where it has constant water flow. Interviews and data collection were carried out to identify the electric power demand of the property and hydrological data, such as: precipitation, basin area, flow rate and water fall height. The survey of electricity demand identified a large consumption varying on average 2300 kWh per month, due to the use of high power equipment such as pumps, crushers, water jet and coolers. The results of the hydrological study identified a small potential for the generation of electric energy, which are justified by the data obtained from the basin area of 1,61 km<sup>2</sup>, direct flow of 26,0 l/s and water fall height of 6,5 meters. The calculations of final power determination resulted in 1,21 kwh, which would not be able to supply the total demand of the property. Faced with this, the equipment of lower power was separated to be serviced by CGH. With the installation of the hydroelectric generating plant, although it did not supply all the demand for the property, it obtained a saving of 35% of the amount paid in the electricity bill and the amount invested will have a return to the investment in approximately four years.

Keywords: Hydropower Generating Plant, CGH, electric energy demand, power determination, time of return.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Perfil de uma usina hidrelétrica.....	12
Figura 2 - Turbina Michell-Banki .....	16
Figura 3 - Hélice de uma turbina de pás fixas .....	16
Figura 4 – Turbina Kaplan .....	17
Figura 5 – Turbina Francis .....	17
Figura 6 – Turbina tipo Bulbo .....	18
Figura 7 - Delimitação de uma bacia hidrográfica.....	18
Figura 8 - Imagem aérea da Fazenda Água Franca.....	28
Figura 9 - Medição da altura de queda d'água.....	29
Figura 10 – Criação do polígono .....	30
Figura 11 - Criação do polígono no sistema PCI.....	30
Figura 12 - Área do polígono.....	31
Figura 13 - Medição de vazão.....	34
Figura 14 - Equipamento utilizado para medir altura .....	35
Figura 15 - Medição da altura de queda d'água .....	36
Figura 16 – Roda d'água.....	44
Figura 17 - Altura de queda d'água .....	45
Figura 18 - Corte esquemático do projeto.....	45
Figura 19 - Turbinas Michell banki modelo Betta.....	51



## LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS

Tabela 1 – Classificação de Centrais Hidrelétricas .....	14
Tabela 2 – Cálculo de vazão .....	35
Tabela 3 – Histórico de consumo de energia elétrica .....	36
Tabela 4 – Inventário de aparelhos elétricos .....	37
Tabela 5 – Fluxo de Caixa Anual .....	38
Tabela 6 – Resultados da área da bacia .....	40
Tabela 7 – Inventário de aparelhos elétricos atendidos pela CGH .....	50
Tabela 8 – Orçamento .....	51
Quadro 1 – Coeficiente de escoamento .....	22
Gráfico 1 – Histórico de duração das chuvas .....	43
Gráfico 2 – Consumo diário de energia elétrica .....	47

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CGH	Central Geradora Hidrelétrica
ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
CNAEE	Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica
ELETOBRAS	Centrais Elétricas Brasileiras S.A
ELETROSUL	Centrais Elétricas do Sul do Brasil
ELETRONORTE	Centrais Elétricas do Norte do Brasil
ONS	Operador Nacional de Energia Elétrica
SIN	Sistema Interligado Nacional
BIG	Banco de Informação de Geração
UHE	Usina Hidrelétrica
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
IDF	Intensidade, Duração e Frequência
GPRH	Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos
TJLP	Taxa de juros ao longo do prazo
MW	Megawatt
kW	Kilowatt
km <sup>2</sup>	Quilômetro quadrado
Rpm	Rotação por minuto
PCI	Plataforma de Compartilhamento de Informações Geográficas
SEMARH	Secretária de Meio Ambiente e Recursos Hídricos

## SUMÁRIO

<b>1.0 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1 PROBLEMAS DE PESQUISA .....</b>	<b>13</b>
<b>1.2 OBJETIVOS .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2.1 Objetivos gerais.....</b>	<b>14</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos .....</b>	<b>14</b>
<b>1.3 JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>15</b>
<b>2.0 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 USINAS HIDRELÉTRICAS NO BRASIL .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 CENTRAIS GERADORAS HIDRELÉTRICAS (CGH).....</b>	<b>18</b>
<b>2.3 TURBINAS GERADORAS DE ENERGIA ELÉTRICA .....</b>	<b>20</b>
<b>2.3.1 Turbinas Banki .....</b>	<b>20</b>
<b>2.3.2 Turbinas hélices .....</b>	<b>21</b>
<b>2.3.3 Turbinas Kaplan.....</b>	<b>22</b>
<b>2.3.4 Turbinas Francis.....</b>	<b>22</b>
<b>2.3.5 Turbinas Bulbo .....</b>	<b>23</b>
<b>2.4 CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS.....</b>	<b>23</b>
<b>2.4.1 Ciclo Hidrológico .....</b>	<b>23</b>
<b>2.4.2 Bacia Hidrográfica.....</b>	<b>24</b>
<b>2.5 DETERMINAÇÃO DA VAZÃO DE PROJETO.....</b>	<b>26</b>
<b>2.5.1 Método Racional .....</b>	<b>26</b>
<b>2.5.2 Equação de Chuva (IDF).....</b>	<b>27</b>
<b>2.6 DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA .....</b>	<b>28</b>
<b>2.6.1 Fator de Demanda .....</b>	<b>28</b>
<b>2.6.2 Fator de Carga .....</b>	<b>29</b>
<b>2.7 ANÁLISE FINANCEIRA DE INVESTIMENTO.....</b>	<b>29</b>
<b>2.7.1 Fluxo de Caixa.....</b>	<b>30</b>
<b>2.7.2 Valor Presente Líquido (VPL).....</b>	<b>30</b>
<b>2.7.3 Taxa Interna de Retorno (TIR) .....</b>	<b>31</b>
<b>2.7.4 Período de Recuperação do Investimento (Pay-Back) .....</b>	<b>32</b>
<b>3.0 METODOLOGIA.....</b>	<b>33</b>
<b>3.1 TIPO DE ESTUDO.....</b>	<b>33</b>
<b>3.2 LOCAL DA PESQUISA .....</b>	<b>33</b>
<b>3.3 LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS E HIDROLÓGICOS .....</b>	<b>34</b>

<b>3.3.1 Área da Bacia .....</b>	<b>34</b>
<b>3.3.2 Declividade .....</b>	<b>37</b>
<b>3.3.3 Tempo de Concentração.....</b>	<b>37</b>
<b>3.3.4 Vazão.....</b>	<b>37</b>
<b>3.3.5 Altura da queda d'água.....</b>	<b>40</b>
<b>3.5 CÁLCULOS FINANCEIROS .....</b>	<b>43</b>
<b>3.5.1 Fluxo de Caixa.....</b>	<b>43</b>
<b>3.5.2 Pay-Back.....</b>	<b>44</b>
<b>3.6 DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA.....</b>	<b>44</b>
<b>4.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>45</b>
<b>4.1 ÁREA DA BACIA .....</b>	<b>45</b>
<b>4.2 CARACTERIZAÇÃO DO RESERVATÓRIO .....</b>	<b>46</b>
<b>4.3 DECLIVIDADE.....</b>	<b>46</b>
<b>4.4 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO .....</b>	<b>46</b>
<b>4.5 VAZÃO .....</b>	<b>46</b>
<b>4.6 ALTURA DE QUEDA D'ÁGUA .....</b>	<b>49</b>
<b>4.7 DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA .....</b>	<b>51</b>
<b>4.7.1 Fator de demanda .....</b>	<b>52</b>
<b>4.7.2 Fator de carga diário .....</b>	<b>53</b>
<b>4.8 DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA.....</b>	<b>54</b>
<b>4.9 CÁLCULOS FINANCEIROS .....</b>	<b>55</b>
<b>4.9.1 Fluxo de caixa.....</b>	<b>56</b>
<b>4.9.2 Recuperação do Investimento (Pay-Back).....</b>	<b>56</b>
<b>5.0 CONCLUSÕES.....</b>	<b>58</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>60</b>

## 1.0 INTRODUÇÃO

No Brasil, o aumento da demanda de energia elétrica cresce a grandes passos, a procura é grande e a oferta limitada, levando em consideração que nosso País paga a maior taxa de fornecimento de energia, o que gera inquietações na população em geral; haja vista que nós exportamos para nossos países vizinhos, como Argentina, Uruguai e Paraguai.

Quando se trata da região urbana, a problemática de fornecimento de energia é de mais fácil acesso; pois o cidadão está mais próximo e tem em mãos variados instrumentos de solicitações.

Mas esta demanda de energia elétrica não está somente na zona urbana, está afetando o meio rural, mas com o diferencial do avanço de novas tecnologias que vem proporcionando aos produtores rurais acesso a novos tipos de máquinas e equipamentos mais sofisticados tecnologicamente; favorecendo aos mesmos, um aumento significativo na sua produtividade, explorando todas as potencialidades de sua propriedade com segurança e comodidade.

Segundo o PENUMA (2016) nos últimos quatro anos o país não teve um aumento significativo no tocante ao investimento do Governo Federal em fontes de energia renovável.

Uma possibilidade para regiões onde ocorre uma baixa oferta de eletricidade ou na inexistência deste serviço é a utilização de centrais geradoras hidrelétricas CGH, que são usinas de pequeno porte, para suprir a necessidade da localidade. Esta energia é gerada por força mecânica, por meio do uso de turbinas hidráulicas acionadas pela força da água.

Atualmente, muito se comenta a respeito do surgimento de novas políticas voltadas para incentivar a implantação de pequenos empreendimentos de produção de energia. Os fabricantes estão desenvolvendo novos projetos e inovando para adequar-se a essa realidade, com algumas peculiaridades, tais como: aproveitamento de baixas quedas d'água, potência mais reduzida e o mais interessante; baixo valor de custo e manutenção.

O produtor rural de modo geral precisa de reforço, de ajuda e de conhecimento, de modo que o mesmo possa usufruir e fazer o melhor dentro da sua propriedade, aproveitando cada espaço disponível para produzir, gerar renda e empregos. O investimento é propício, é fundamental, é lucrativo e é necessário.

Acreditamos na necessidade de trabalhos que tratam desta temática de implantação de centrais geradoras hidrelétricas de pequeno porte, tendo como foco principal o potencial hídrico da região, nos projetos de engenharia e na viabilidade econômica, proporcionando o crescimento e desenvolvimento da região, que pode ser uma fazenda, uma indústria, chácara, vila ou até mesmo uma pequena cidade.

Este projeto será implantado na Fazenda Água Franca, zona rural do município de Gurupi, sul do Estado do Tocantins. Esta fazenda dispõe de nascente de um pequeno córrego dentro da área da propriedade; com uma pequena represa onde possui uma queda d'água que não é aproveitada. Percebemos nesta área a possibilidade de desenvolver este projeto; e estaremos contribuindo com o proprietário, através de conhecimentos e aproveitamento do potencial hídrico dentro da sua propriedade.

A mencionada propriedade tem como atividade principal, a criação de gado para a produção de leite, pequenas plantações de milho, melancia e capim; e com a instalação e funcionamento da usina, gerando energia elétrica, o proprietário da fazenda poderá investir no aumento de sua produção implantando, por exemplo; um sistema mecanizado de retirada do leite e armazenamento, fabricação de queijos e derivados de leite, bem como, a possibilidade de explorar novas atividades na sua área como plantio de soja, milho e melancia em grande escala, entre tantas diversidades.

## **1.1 PROBLEMAS DE PESQUISA**

Com a vazão disponível será possível produzir energia elétrica suficiente para atender a demanda da propriedade? O projeto será viável economicamente após sua finalização e quanto tempo será necessário para ter retorno do valor investido?

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivos gerais**

Dimensionar um projeto de uma central geradora hidrelétrica para uma propriedade rural no município de Gurupi-TO.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

Para alcançar o sucesso do projeto, alguns objetivos específicos deverão ser realizados:

- Realizar estudo hidrológico da bacia na região, identificando o tipo de reservatório, sua área, a vazão disponível, altura de queda d'água e declividade;
- Calcular a demanda de energia elétrica da propriedade;
- Definir o tipo, marca e modelo da turbina geradora de energia e demais equipamentos auxiliares que melhor adequará ao projeto e conhecer a potência média gerada;
- Calcular o valor do investimento e quanto tempo será o retorno.



### **1.3 JUSTIFICATIVA**

As centrais hidrelétricas são as únicas dentre todas as fontes renováveis de geração de energia elétrica que opera ininterruptamente, com a maior potência nos períodos chuvosos, podendo disponibilizar mais energia do que a demanda de uma região ou propriedade. (ABRAPCH, 2016).

Conforme Berti (2017), a produção de energia obtida fontes limpas contribui com a diminuição de emissão de gás carbônico na atmosfera. Essa postura sustentável é uma tendência mundial, e o Brasil está mostrando uma postura positiva em incentivo a esses empreendimentos, como mostra a conversão da Medida Provisória nº 735 na Lei 13.360/2016, que simplificou o processo de autorização da obra, isentando a outorga para usinas geradoras de até 5 MW, necessitando apenas realizar o registro da central geradora hidrelétrica na Agência Nacional de Energia Elétrica ANEEL.

Na propriedade contemplada com esse projeto, quando a usina estiver em pleno funcionamento, o proprietário poderá investir em novas máquinas e equipamentos para realização de tarefas diárias, podendo também aumentar a produtividade ampliando sua atuação em novas áreas de produção no campo.

## **2.0 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 USINAS HIDRELÉTRICAS NO BRASIL**

No Brasil a primeira utilização de energia elétrica gerada mecanicamente por força hídrica foi no ano de 1883 no município de Diamantina, na época província de Minas Gerais, que recebeu o nome de Ribeirão do Inferno. Com um desnível de 5 metros foi uma das maiores já vista em seu tempo (ALVES et al, 2007).

Em 1931 o governo brasileiro tomou poder de conceder direitos ao uso das águas, com isso, houve a necessidade de criar Ministérios, Conselhos, Empresas ligadas ao Governo Federal para administrar, fiscalizar e regulamentar o setor.

No ano de 1934 foi criado o Código das Águas, que é atuante até hoje. Em 1936 foi criado o Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica CNAEE, que em 1960 foi substituído pela criação do Ministério de Minas e Energia. Em 1961 foi criada a Centrais Elétricas Brasileiras S.A ELETROBRAS, dentre outras empresas como a Centrais Elétricas do Sul do Brasil ELETROSUL, criada em 1968 e Centrais Elétricas do Norte do Brasil ELETRONORTE, criada em 1972. No ano de 1996 foi criada a Agência Nacional de Energia Elétrica ANEEL, se tornando uma autarquia sob regime especial vinculada ao Ministério de Minas e Energia, tendo como as principais atribuições: regularizar a geração, transmissão e comercialização de energia elétrica; fiscalizar; incentivar a exploração dos recursos hídricos para produção de energia elétrica; conceder outorgas, autorização e permissões de empreendimentos ligados ao setor de energia elétrica.

Em 1998, sob a fiscalização da ANEEL, foi criado o Operador Nacional de Energia Elétrica ONS, que tem a responsabilidade de coordenar e controlar a geração e a distribuição de energia elétrica com a utilização do Sistema Interligado Nacional SIN.

O Decreto nº 2.003 (1996) do governo federal regulamentou os empreendimentos com finalidade de gerar energia elétrica de pequeno porte, denominando de autoprodutor ou produtor independente; autoprodutores de energia elétrica é definido como pessoa jurídica ou física ou consórcio de empresas que recebem autorização para gerar energia elétrica destinada ao seu próprio consumo; produtores independentes também são definidos como pessoa jurídica ou física ou consórcio de empresas que recebem autorização para gerar energia elétrica para comercialização de toda ou parte da energia gerada, assumindo a responsabilidade por todo o processo.

No Brasil, a água é um recurso natural em abundancia que ainda pode ser muito aproveitado para geração de eletricidade, segundo o Banco de Informação de Geração (BIG)

da ANEEL (2017), 61% da energia elétrica no país é gerada através de fontes hídricas, totalizando mais 98000 MW, em contrapartida, é pequeno número de centrais geradoras hidrelétricas em funcionamento, com apenas 4900 MW de energia gerada, totalizando 3,7% da energia elétrica produzida no país.

De acordo com a ANEEL (2007), Três usinas hidrelétricas UHE estão em funcionamento hoje no Tocantins, a UHE Peixe Angical no município de Peixe-TO, que começou a produzir energia em 2006 e que atualmente gera uma potência de 500 MW, a UHE São Salvador no município de São Salvador do Tocantins – TO, que iniciou as operações em 2009 e hoje gera uma potência de 255 MW e a UHE Luiz Eduardo Magalhães localizada no município de Lajeado-TO, que iniciou a produção de energia em 2001 com potência gerada de mais de 850 MW.

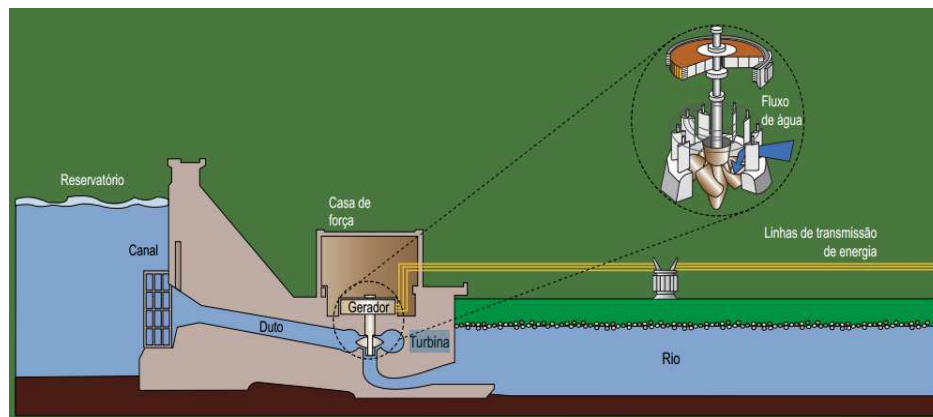
Usinas hidrelétricas são aquelas que utilizam o fluxo das águas decorrente do desnível do relevo da região para geração de energia, assim por meio de uma barragem possibilita acumular um grande volume de água, formando um reservatório e garantindo fluxo d'água constante durante os períodos chuvosos e de estiagem. Com o nível da água mais alto, decorrente do lago que se forma com o represamento do curso d'água, tem um ganho elevado em pressão que garante um rendimento satisfatório para a usina (BELICO, 2011).

Segundo Muller (1995), uma usina produtora de energia elétrica é constituída por quatro estruturas básicas que trabalham em conjunto, são elas: adução, casa de força, vertedouro e canal de fuga, como mostra na Figura 1. A água represada é transportada por um sistema de adução a gravidade para a casa de força onde localiza as turbinas da usina, que proporciona a rotação em seu eixo, esse giro das turbinas tem a finalidade de alimentar o gerador da usina, que, por fim, converte energia mecânica em energia elétrica. Depois que a água passa pelas turbinas é devolvida ao curso natural do rio através do canal de fuga, um possível excesso de água no reservatório é escoado pelo vertedouro que evita transbordamento da água. Este conjunto de equipamentos e processos é chamado de usina hidrelétrica.

- Sistema de adução: Têm a finalidade de conduzir a água da barragem até as turbinas, que pode ser construído em concreto armado ou em tubulações;
- Casa de Força ou Casa de Maquinas: É a edificação que abriga as turbinas, os grupos geradores e todos os equipamentos auxiliares necessários para produção de energia elétrica. Deve ser construída na superfície do terreno ou subterrânea. Construída em alvenaria, concreto armado ou em pré-moldados, deverá ter uma cobertura e piso com baixa condutividade elétrica;

- Canal de fuga: É a estrutura responsável em transportar a água que sai das turbinas até o curso natural do rio. Esta recondução da água deverá ser em velocidades reduzidas para evitar erosões;
- Os vertedouros são responsáveis por permitir a saída da água dos reservatórios sempre que os níveis estiverem altos, ultrapassando os limites de segurança. O excesso de chuva ou vazão são alguns dos motivos que pode contribuir para elevar os níveis de água dos reservatórios. Um vertedor também pode ser aberto quando tiver mais água do que o necessário para a produção de energia elétrica. A liberação de água pelos vertedores contribui para evitar enchentes na região próxima ao reservatório da usina (MULLER, 1996).

**Figura 1 - Perfil de uma usina hidrelétrica**



Fonte: Atlas de Energia Hidráulica ANEEL, (2007).

## 2.2 CENTRAIS GERADORAS HIDRELÉTRICAS (CGH)

As CGH's são pequenas usinas geradoras de energia elétrica, mais utilizada no meio rural, empresas ou fábricas. Na maioria dos casos utilizam pequenos rios que tem um grande desnível em seu curso e que pode ser represada ou não, garantindo força hídrica necessária para girar as turbinas (ANEEL, 2007).

O Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS ressalta que pequenas usinas geradoras de energia elétrica também representam muita importância no desenvolvimento social e econômico de uma região. Em comunidades isoladas ou propriedades rurais sem cobertura de rede de distribuição podem desfrutar de benefícios a partir do momento em que são atendidos por uma rede de energia elétrica. Entre os benefícios a ONS destaca: a possibilidade de levar água encanada para as residências, bombear água para irrigação de

plantações, geração de emprego e renda. Estas necessidades podem ser supridas por essa modalidade de geração de eletricidade a custos menores e com pequeno impacto ambiental.

Segundo a ANEEL (2007), o Brasil tem características específicas que tornam um país propício para a instalação de pequenas centrais geradoras hidrelétricas, as principais são:

- Características topográficas, hidrológicas e geológicas favoráveis;
- Domínio tecnológico no estudo, projeto e fabricação de equipamentos para geração de energia elétrica de pequeno porte;
- Existência de pequenas populações isoladas e propriedades rurais ainda não contemplados por uma rede de energia elétrica;
- Existência de programas sociais dos governos Federal, Estadual com finalidades de incentivar a se tornar autoprodutores e produtores independentes de energia elétrica.

O Atlas de Energia Hidráulica da ANEEL (2009) explica como classificar uma usina hidrelétrica, que é dividida em potência instalada, tipos de reservatórios e vazões, altura da queda d'água e o tipo de turbina:

- A potência gerada na usina é a principal classificação para fins de fiscalização, regulação e outorga. A classificação determina se ela é de pequeno, médio ou grande porte, conforme a Tabela 1 abaixo.

**Tabela 1 – Classificação de Centrais Hidrelétricas**

Classificação	Potência
Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH)	até 1 MW
Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH)	entre 1,1 e 30 MW
Usina Hidrelétrica de Energia (UHE)	mais de 30 MW

Fonte: Agencia Nacional de Energia Elétrica, (2003)

Para a utilização de recursos hídricos na geração de energia elétrica com potencial inferior a 1 MW está dispensado de permissão, concessão ou autorização, devendo apenas comunicar o órgão regulamentador, neste caso a ANEEL, para fins de registro;

- Em relação aos tipos de reservatórios e as vazões, é definido os critérios para enquadramento de centrais geradoras hidrelétricas, que são elas: centrais a fio d'água, centrais de acumulação: fio d'água é implantada em rios ou riachos perenes, próximo as nascentes com um maior volume de água disponível, onde a menor vazão nos dias de estiagem é suficiente para o sistema gerador produzir energia que atenda a

demanda. Pode utilizar um pequeno reservatório para proteger o sistema de adução. Esta classificação esta dispensada de realizar estudos de regularização de descargas e estudos sazonais de carga elétrica do consumidor; central de acumulação é implantada em rios onde no período de estiagem não garante vazão suficiente para geração de energia, com isso forma-se um reservatório através de uma barragem para a acumulação de água e assim garantindo vazão suficiente para a produção de energia;

- Queda d'água: a altura é definida basicamente como baixa, média ou alta. A do tipo baixa é enquadrada em alturas de queda d'água de até 12 metros, alta com queda maior que 150 metros, em relação à média altura não existe um consenso para sua definição;
- Turbinas: são os equipamentos responsáveis por receber o escoamento da água que vem do reservatório, que através de suas hélices provoca rotação em seu eixo repassando essa força para os geradores. A escolha das turbinas tem relação direta com altura da queda d'água e a vazão.

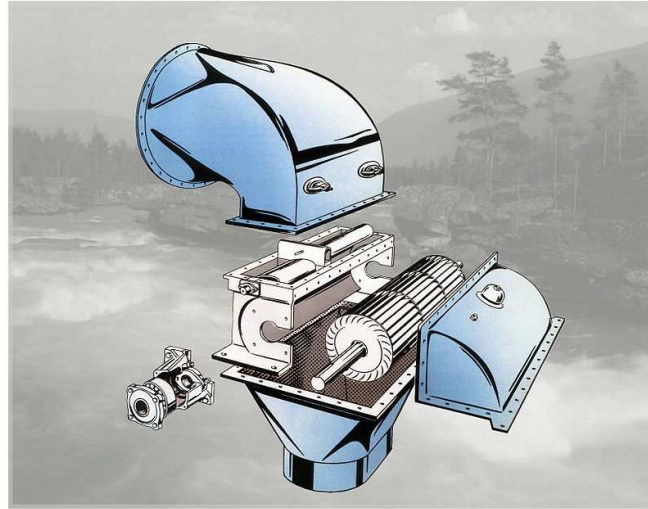
## **2.3 TURBINAS GERADORAS DE ENERGIA ELÉTRICA**

Na engenharia hídrica existem dois tipos de equipamentos hidráulicos, as turbinas e as bombas. Turbinas têm a função de transformar energia hidráulica em energia mecânica, as bombas funcionam ao contrário das turbinas, elas transformam energia mecânica em energia hidráulica (ALVES et al, 2007). As principais turbinas existentes hoje no mercado para utilização em usinas geradoras de energia são: Banki, Turbinas Hélices, Francis, Kaplan e Bulbo.

### **2.3.1 Turbinas Banki**

Turbina Banki ou Michell-Banki de fluxo cruzado é um equipamento de baixo custo e de pequeno impacto ambiental. Tem um aproveitamento que pode chegar a aproximadamente 5.000 kW de potência. Projetada para ser instalada em desníveis entre 5 a 50 metros e com vazões de 25 a 1.000 litros por segundo. O rendimento deste modelo de turbina pode chegar a 85%. Outra característica das turbinas Banki é que trabalha em baixas rotações, uma média de 240 rpm, conforme a Figura 2 a seguir. (BETTA, 2016).

**Figura 2 - Turbina Michell-Banki**



Fonte: Betta Hidroturbinas, (2016).

### 2.3.2 Turbinas hélices

Turbinas construídas em forma de hélice com pás fixas que trabalham dentro das tubulações na posição horizontal. Tem característica de proporcionar maior rotação para pequenas alturas. O rendimento deste modelo varia entre 80% a 90% em quedas d'água entre 10 a 30 metros de altura. Têm grande derivação de modelos, dentre eles estão as turbinas Kaplan, conforme a Figura 3 abaixo. (VERKA, 2017).

**Figura 3 - Hélice de pás fixas**



Fonte: Verka Energy, (2017).

### 2.3.3 Turbinas Kaplan

Kaplan é o modelo de turbina mais moderna em forma de hélice, possui pás móveis que pode ser ajustada de acordo com a solicitação da usina. Tem flexibilidade de produzir na posição horizontal ou vertical com rendimento de 95% e potência que vai de 35 a 8.500 kW. Mais utilizada em usinas de baixos desníveis, que varia entre 1,5 a 15 metros. Excelente rendimento para baixas vazões, porém, alguns modelos são projetados para vazões superiores 2.000 litros por segundo, conforme a Figura 4 a seguir. (HACKER, 2017).

**Figura 4 - Turbina Kaplan**



Fonte: Hacker Indústria de Turbinas, (2017).

### 2.3.4 Turbinas Francis

É a turbina mais utilizada em usinas geradoras de energia elétrica, tem alto rendimento que pode chegar a 95%. São recomendadas para ser instalada em desníveis de 10 a 150 metros e com vazões variando entre 20 a 5.000 litros por segundo. A potência final gerada é de 10.000 kW. Seu custo é menor que a Turbina Kaplan. Possui dois modelos de rotores, caixa aberta e câmara espiral, conforme a Figura 5 abaixo. (HACKER, 2017).

**Figura 5 - Turbinas Francis**



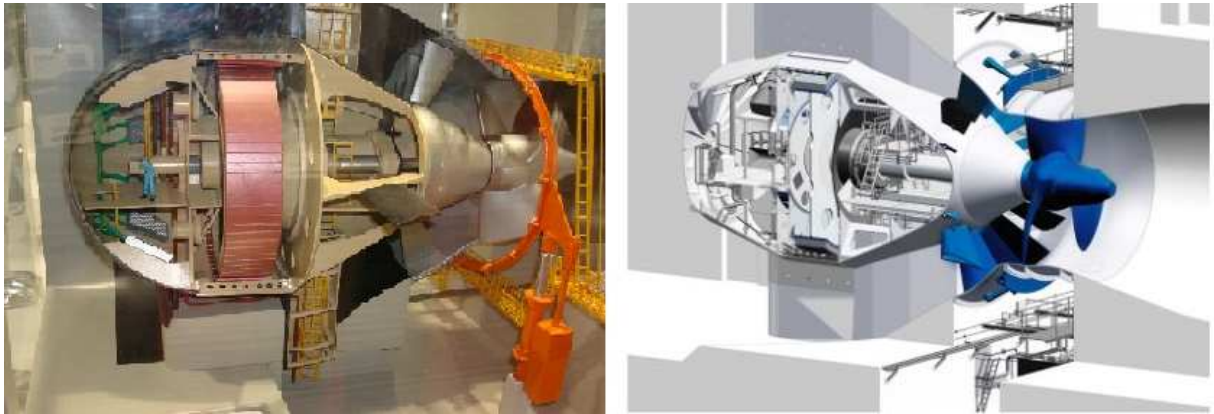
Fonte: Hacker Indústria de Turbinas, (2017).



### 2.3.5 Turbinas Bulbo

Turbina mais indicada para usinas com pequenas quedas d'água de até 35 metros de altura e com vazão de 25 a 1.000 litros por segundo, podendo gerar de 55 a 1.500 kW de potência. Turbinas Bulbo funcionam em usinas a fio d'água, que dispensa a necessidade de reservatório de água, conforme a Figura 6 a seguir. (VOITH, 2016).

**Figura 6 - Turbinas Bulbo**



Fonte: Voith Hydro, (2017).

## 2.4 CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS

A hidrologia é uma ciência com ampla área de estudo, que pode ser definida como a ciência que estuda a água seus fenômenos em todas suas formas, sob e sobre a superfície da terra. Por meio destes estudos podemos obter informações sobre o comportamento dos recursos hídricos, sua distribuição, propriedades, e suas reações (GARCES, 1988).

### 2.4.1 Ciclo Hidrológico

Righetto (1998) define ciclo hidrológico como o processo natural das águas no planeta, ela evapora, condensa, cai através da precipitação, no contato com solo uma parte se torna escoamento superficial e a outra percola no solo chegando até os aquíferos. Completa ainda dizendo que na engenharia hidrológica, as bacias hidrográficas são as áreas principais de estudo.

Tucci (2001) descreve o ciclo hidrológico começando com os vapores de água presente no ar que, de acordo com as condições meteorológicas, condensa-se agrupando as micro gotículas de água, gerando uma turbulência entre si, que possibilita manter-se suspensa no ar.

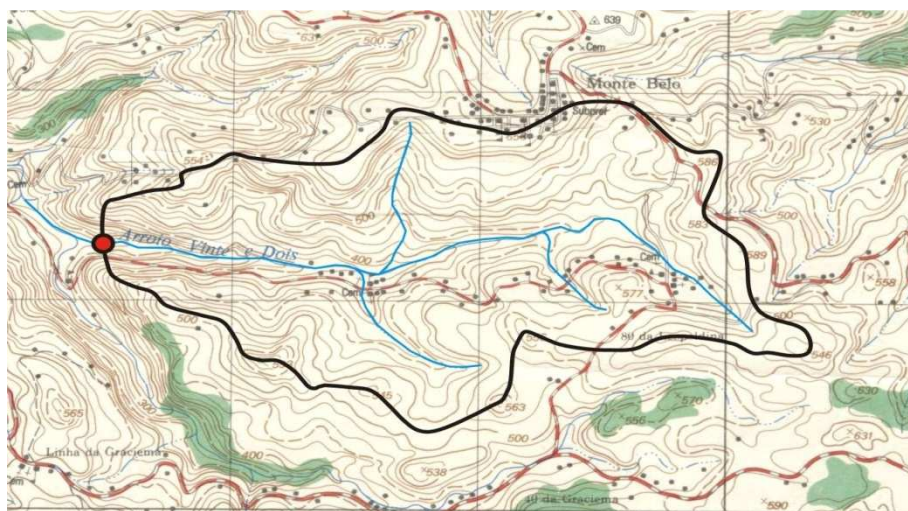
A precipitação ocorre quando as micro partículas de água se transformam em nuvens de grande volume, gerando gotas com peso suficiente para que a força da gravidade supere as turbulências. Quando essa água chega à superfície terrestre ela toma dois caminhos, a infiltração e o escoamento superficial: a infiltração é toda precipitação que chega ao solo até o momento em que sua superfície não está completamente saturada. Quando o solo está totalmente saturado, o excesso de água da precipitação é transformado em escoamento superficial, que é impulsionado pela gravidade para as cotas mais baixas (TUCCI, 2001).

O autor completa explicando que a existência de vegetação na superfície do solo colabora para minimizar o escoamento superficial, favorecendo a infiltração. A vegetação também reduz a energia cinética de impacto das gotas de chuva no solo, minimizando o surgimento de erosões.

#### 2.4.2 Bacia Hidrográfica

Conforme Tucci (2001), bacia hidrográfica é a região de captação da água da chuva que é composta por um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos d'água, que tem característica de conduzir os escoamentos superficiais a um único ponto, o exutório, como mostra na Figura 7. As bacias hidrográficas são compostas por várias sub-bacias hidrográficas. Onde cada sub-bacia é uma bacia hidrográfica que pode ser subdivida em sub-bacias, e assim sucessivamente.

**Figura 7 – Delimitação de bacia hidrográfica**



Fonte: IBGE, (2017)

Algumas características das bacias hidrográficas são consideradas de extrema relevância para o desenvolvimento dos estudos hidrológicos, são elas:

- Área: é a informação mais importante da bacia, com essa informação podemos identificar o total de água que pode ser aproveitado e servir de base para calcular várias outras características. Pode ser obtida através de ferramentas computacionais ou por meio de cartas topográficas;
- Declividade: a declividade de uma bacia controla a velocidade com que se dá o escoamento superficial, portanto, influencia no tempo que leva a água da chuva concentrar-se nos leitos dos rios. Pode ser identificado pela seguinte equação:

(Equação I)

$$D = \frac{CM - Cm}{L}$$

Em que:

D = Declividade (m);

CM = Cota mais alta da bacia (m);

Cm = Cota mais baixa da bacia (m);

L = Distância entre o ponto mais alto e o ponto mais baixo (m).

- Tempo de Concentração: é o tempo necessário para que a água proveniente da precipitação no ponto mais distante escoe até o ponto mais baixo da bacia, o exutório ou ponto de medição. Pode ser calculado pelas seguintes equações:

Para bacias de até 3,5 km<sup>2</sup>, equação de Kirpich:

(Equação II)

$$tc = 57. \left( \frac{L^3}{\Delta h} \right)^{0,385}$$

Para bacias maiores de 3,5 km<sup>2</sup>:

(Equação III)

$$tc = 7,68. \left( \frac{L}{S^{0,5}} \right)^{0,79}$$

Em que:

tc = Tempo de concentração (min);

L = Comprimento do rio principal (km);

 $\Delta h$  = Diferença de altitude do rio principal (m);

S = Declividade do rio principal (m/m).

- Fator de forma: é a forma superficial de uma bacia hidrográfica que pode ser arredondada ou mais estreita. Esse fator indica se a bacia tem tendência para enchentes ou não. Quanto menor for o fator de forma, mais baixo é o risco de enchentes nesta bacia, que pode ser calculado pela seguinte equação:

(Equação IV)

$$Kf = \frac{Lm}{Le}$$

Em que:

Kf = Coeficiente de forma da bacia;

Lm = Largura média da bacia (m);

Le = Comprimento do eixo da bacia (m).

## 2.5 DETERMINAÇÃO DA VAZÃO DE PROJETO

Para a determinação da vazão de projeto, existem diversos modelos e métodos apresentados por alguns autores na literatura. Uns utilizam expressões matemáticas, outros através de métodos diretos, medidos in loco.

O modelo a ser utilizado é definido em função da área da bacia, dentre os mais comuns Tucci (2001) destaca o Método Racional que é utilizado em pequenas bacias hidrográficas com áreas de até 2 km<sup>2</sup>.

### 2.5.1 Método Racional

Tucci (2001) afirma que o Método Racional é um método indireto que estabelece relação entre o escoamento superficial e a precipitação. Considera a precipitação de projeto igual ao tempo de concentração e adota somente um coeficiente. O método racional não avalia o volume da cheia e a distribuição temporal das vazões e também considera a chuva de projeto com intensidade constante ao longo do tempo. Este método é calculado pela seguinte equação:

(Equação V)

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{360}$$

Onde:

Q = Vazão (m<sup>3</sup>/s);

C = Coeficiente de escoamento Run off;

I = Intensidade média de precipitação (mm/h);

A = Área da bacia (km<sup>2</sup>).

- Intensidade pluviométrica: a intensidade a ser considerada no método é a máxima ou mínima média observada num intervalo de tempo igual ao tempo de concentração da bacia, para o período de recorrência escolhido;
- Coeficiente de escoamento: também pode ser chamado de coeficiente de deflúvio ou coeficiente de Run Off. Tucci (2001) apresenta e recomenda conforme o Quadro 1 os seguintes dados para obter o coeficiente C da equação do método racional:

**Quadro 1 – Coeficiente de escoamento**

Tipo de área	C'
1 Topografia	
terreno plano, declividade de 0,2-0,6 m/km	0,30
terreno, declividade de 3 - 4 m/km	0,20
morros, declividade de 30 -50 m/km	0,10
2 Solo	
argila impermeável	0,10
permeabilidade média	0,20
arenoso	0,40
3 Cobertura	
áreas cultivadas	0,10
árvores	0,20

Fone: Tucci, (2001)

### 2.5.2 Equação de Chuva (IDF)

Segundo Tucci (2001), para dimensionar projetos hidráulicos é essencial obter três grandezas que tem finalidade de caracterizar as precipitações máximas: intensidade, duração e freqüência (IDF). Que é expressa pela seguinte equação:

(Equação VI)

$$i = \frac{a \cdot Tr^b}{(t + c)^d}$$

Em que:

i = intensidade (mm/h);

Tr = tempo de retorno (anos);

t = duração da chuva (min);

a, b, c, d = são parâmetros determinados para cada localidade, pode ser obtido através do programa computacional *Plúvio*, que é fornecido pelo Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos (GPRH) da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

## 2.6 DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

Para o dimensionamento do projeto, em relação à potência final de produção de energia elétrica de uma central geradora de pequeno porte, é de extrema importância conhecer toda a demanda de energia da propriedade, levando em consideração todos os aparelhos e equipamentos elétricos já existentes e também considerando a previsão de futuras instalações de equipamentos após a usina ser concluída. Com as informações de quanto será consumido de energia elétrica pela propriedade, será possível saber qual o conjunto de turbina e gerador que será mais adequado para ser instalado na central geradora hidrelétrica (ELETROBRAS, 2000).

Conforme Mamede (2011), para obter uma estimativa da potência elétrica que a usina deverá gerar, será necessário a aplicação de dois fatores de cálculo no projeto: fator de demanda e fator de carga, denominados fatores de projeto.

### 2.6.1 Fator de Demanda

Creder (1999) define fator de demanda como a relação entre demanda máxima do sistema e a carga total conectada a ele durante um intervalo de tempo considerado, tendo em vista que dificilmente todos os equipamentos elétricos serão ligados simultaneamente.

Demanda máxima é a soma de todas as potências dos equipamentos elétricos que são suscetíveis de ser utilizados ao mesmo tempo. Carga total conectada é a soma das potências de todos os aparelhos movidos a energia elétrica que serão utilizados pela mesma instalação.

De acordo com o autor, o fator de demanda obtido deve ser multiplicado à potência instalada para obter a potência mínima que realmente deverá ser gerada pela central geradora hidrelétrica. Que é determinado pela seguinte equação:

(Equação VII)

$$Fd = \frac{Dmáx}{Pinst} \cdot 100$$

Em que:

Fd = Fator de demanda (%);

Dmáx = Demanda máxima (kW);

Pinst = Potência da carga instalada (kW).

### 2.6.2 Fator de Carga

Mamede Filho (2011) afirma que fator de carga é a razão entre a demanda média, durante um determinado intervalo de tempo, e a demanda máxima observada no mesmo período, que pode ser diário, semanal, mensal e anual.

Ainda de acordo com o autor, este fator tem a finalidade de expressar o grau no qual a demanda máxima foi mantida durante o intervalo de tempo, e também indica se a energia elétrica está sendo utilizada de forma inteligente por parte da determinada instalação.

Quanto maior for o fator de carga obtido, significa que alguns benefícios foram alcançados. Entre eles o autor cita:

- Aumento da vida útil das instalações;
- Redução da demanda de pico;
- Otimização dos investimentos.

Equação para cálculo do fator de carga diário:

(Equação VIII)

$$Fcd = \frac{Dméd}{Dmáx}$$

Equação para cálculo do fator de carga mensal:

(Equação IX)

$$Fcm = \frac{C}{730 \cdot Dmáx}$$

Em que:

C = Consumo de energia elétrica durante o período de tempo considerado (kWh);

Dmáx = Demanda máxima para o mesmo período de tempo (kW);

Dméd = Demanda média do mesmo período (kW).

## 2.7 ANÁLISE FINANCEIRA DE INVESTIMENTO

Atualmente no Brasil o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social BNDES disponibiliza algumas linhas de créditos para investidores na área de geração de energia renovável, com taxa de juros reduzida e um grande prazo para pagamento.

O BNDES divulgou em novembro de 2016 atualização na sua participação em projetos de produção de energia elétrica. O banco manteve o Fundo Clima, programa de investimento em geração de energia renovável com taxa de 3,6% ao ano calculado pela TJLP e com prazo de até 16 anos para pagamento. Nesta mesma divulgação, o banco cancelou todos os investimentos em energia não renováveis de usinas térmicas, a óleo e carvão (BNDES, 2016).

Sousa e Clemente (2001) ressaltam que investimento é um desembolso feito visando gerar uma série de benefícios futuros, sejam benefícios sociais ou benefícios financeiros. Usualmente os investimentos são projetados para médio e longo prazo. Já a análise financeira visa determinar o retorno de um dado investimento. É importante também considerar o fluxo de caixa do projeto ao longo do prazo.

Para tanto, é importante considerar os indicadores de análise dos investimentos que estão associados à rentabilidade do projeto e a estimativa de quanto tempo o investimento terá retorno para o proprietário. Alguns dos indicadores amplamente utilizados são: Valor Presente Líquido VPL, Taxa Interna de Retorno TIR e Período de Recuperação do Investimento Pay-Back (SOUSA; CLEMENTE, 2001).

### **2.7.1 Fluxo de Caixa**

É uma estimativa da sucessão de recebimentos e pagamentos para um determinado período ou durante a vida útil do projeto, onde o ponto de partida é o capital investido. Esses fluxos de caixa servirão de base para os cálculos dos fatores de VLP, TIR e Pay-Back. (BRAGA, 1989).

O autor ainda afirma que normalmente consideram-se nos fluxos de caixas apenas valores de natureza operacional, embora existam abordagens em que são incluídos também os desembolsos com encargos financeiros e amortizações de financiamento, o que determina um fluxo de caixa residual.

### **2.7.2 Valor Presente Líquido (VPL)**

Sousa e Clemente (2001) consideram o método do VPL como uma técnica robusta de análise de investimento mais conhecida e mais utilizada. Como o nome já diz, o VPL é a concentração de todos os valores esperados de um fluxo de caixa no início do período.

O VPL é obtido pelo resultado da diferença entre o valor dos Fluxos de Caixa trazidos ao período inicial e o valor do investimento. Formalmente pode ser obtido pela seguinte equação:



(Equação X)

$$VPL = \left[ \sum_{j=i}^n \frac{FCj}{(1+k)^j} \right] - \left[ lo + \sum_{j=i}^n \frac{l_j}{(1+k)^j} \right]$$

Em que:

FCj = Fluxo de caixa do período;

lo = Investimento no início do projeto;

lj = Valor do investimento a cada período subsequente;

k = Taxa de desconto do projeto;

Quando:

VPL > 0, a empresa estaria obtendo um retorno maior que o retorno mínimo exigido, com isso o projeto seria aprovado;

VPL = 0, a empresa estaria obtendo um retorno igual ao retorno mínimo, o projeto poderia ser aprovado ou não;

VPL < 0, a empresa estaria obtendo um retorno menor que o retorno mínimo exigido, neste caso o projeto seria reprovado.

### 2.7.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Sousa e Clemente (2001) citam que o método da TIR representa a taxa de desconto que iguala, em determinado momento, as entradas com as saídas previstas do caixa. O cálculo da TIR requer, basicamente, o conhecimento dos montantes de despesas de capital, e dos fluxos de caixa.

Os autores afirmam ainda que a TIR, ao levar em conta o valor do dinheiro no tempo, representa na verdade a rentabilidade do projeto expressa em termos de uma taxa de juros equivalente periódica.

A TIR é representada pela igualdade a seguir:

(Equação XI)

$$\left[ \sum_{j=i}^n \frac{FCj}{(1+TIR)^j} \right] = 0$$

Quando:

$TIR >$  Taxa mínima, a empresa estaria obtendo uma taxa de retorno maior que a taxa de retorno mínima exigida, o projeto seria aprovado;

$TIR =$  Taxa mínima, a empresa estaria obtendo uma taxa de retorno igual à taxa de retorno mínima exigida, o projeto poderia ser aprovado ou não;

$TIR <$  Taxa mínima, a empresa estaria obtendo uma taxa de retorno menor que a taxa de retorno mínima exigida, neste caso o projeto seria reprovado.

#### **2.7.4 Período de Recuperação do Investimento (Pay-Back)**

É um indicador de risco de projetos de investimentos que calcula o número de períodos que a empresa leva para recuperar o seu capital investido. Quanto maior for o tempo considerado, maior será o grau de incerteza nas previsões. Deste modo, propostas de investimento com menor prazo de retorno apresentam menor risco. O prazo máximo pode ser fixado, assim, se o projeto ultrapassar esse limite será considerado inviável (BRAGA, 1989). O cálculo do período de recuperação do investimento é realizado pela seguinte equação:

(Equação XII)

$$Pb = \frac{Inv}{Fcx}$$

Em que:

Pb = Pay-Back (Anos)

Inv = Investimento inicial (R\$)

Fcx = Fluxo de caixa anual (R\$)

Esse cálculo pressupõe que as entradas do fluxo de caixa deverão ser distribuídas com valores iguais durante o ano, e o prazo de retorno poderá apresentar uma fração do último período em que será completo o valor investido.

### 3.0 METODOLOGIA

#### 3.1 TIPO DE ESTUDO

O estudo realizado é uma pesquisa quantitativa, com o objetivo obter a vazão do córrego Água Franca para dimensionar a potência final de geração de energia elétrica em uma usina hidrelétrica de pequeno porte. Para isso, foi necessário coletar dados topográficos, geológicos em campo, realizar entrevistas com o proprietário da fazenda e aplicar vários métodos que serão descritos no decorrer da metodologia deste trabalho.

#### 3.2 LOCAL DA PESQUISA

O levantamento dos dados em campo foi realizado na Fazenda Água Franca, km 6 da estrada vicinal de nome popular “estrada para saneatins” zona rural do município de Gurupi, sul do estado do Tocantins como mostra na Figura 8 a imagem aérea da propriedade. A localização geográfica da fazenda é a seguinte:  $11^{\circ}45'35.543''S$   $49^{\circ}2'10.200''W$

**Figura 8** – Imagem aérea da Fazenda Água Franca



Fonte: Google Earth, (2017)

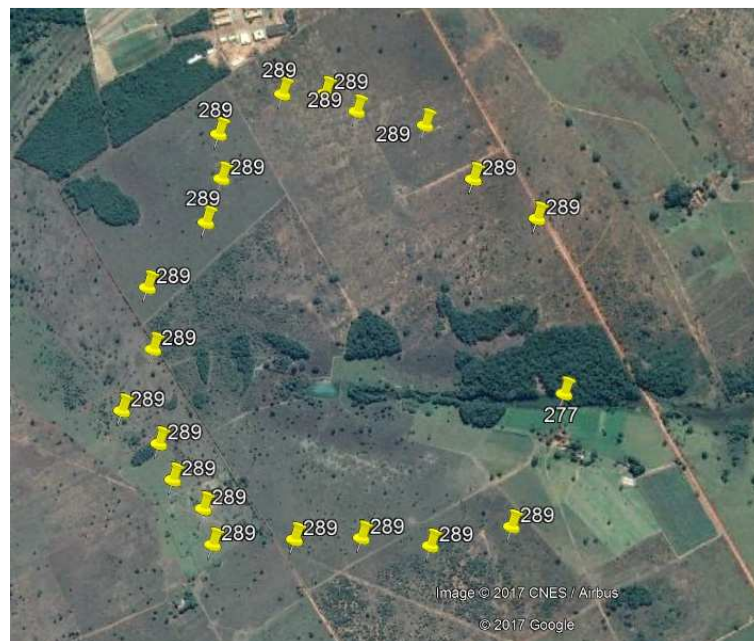
### 3.3 LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS E HIDROLÓGICOS

#### 3.3.1 Área da Bacia

Para obter uma precisão significativa e uma comparação dos dados obtidos na determinação da área topográfica da bacia, foram utilizadas duas ferramentas computacionais e uma ferramenta manual.

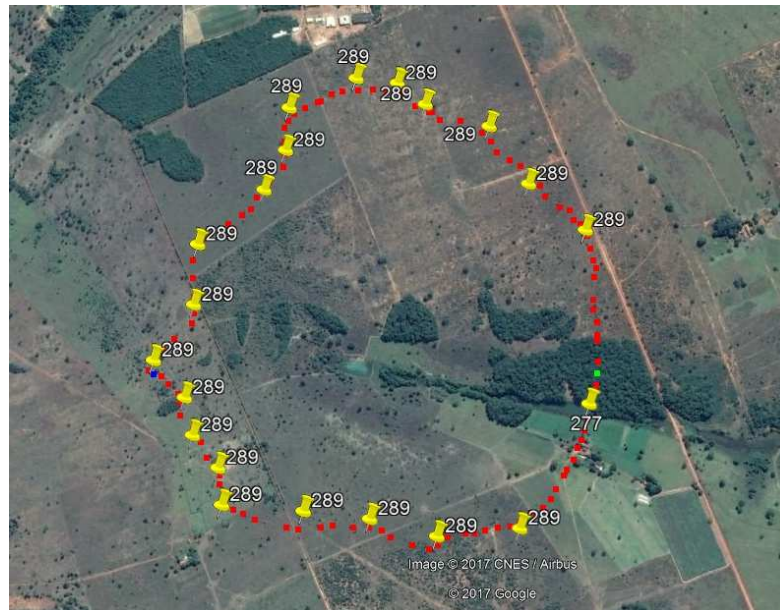
Primeira ferramenta computacional a ser utilizada foi o programa Google Earth Pro, nele foi localizado o ponto do exutório da bacia de estudo e extraído a cota em metros e foi marcado o ponto como inicial, esta cota é a mais baixa da bacia, em seguida foi identificadas as cotas mais altas de metro em metro marcado cada uma delas como mostra na Figura 9, até formar um polígono em volta da bacia.

**Figura 9** – Marcação dos pontos de cota



Fonte: Google Earth (2017)

Para finalmente determinar a área da bacia foi utilizada a opção de geração de polígono no programa, a partir do ponto de cota mais baixa foi selecionando cada uma das marcações geradas anteriormente criando vários pontos de cotas e seguindo até encontrar novamente o ponto exutório fechando o polígono, como mostra a Figura 10.

**Figura 10 – Criação do polígono**

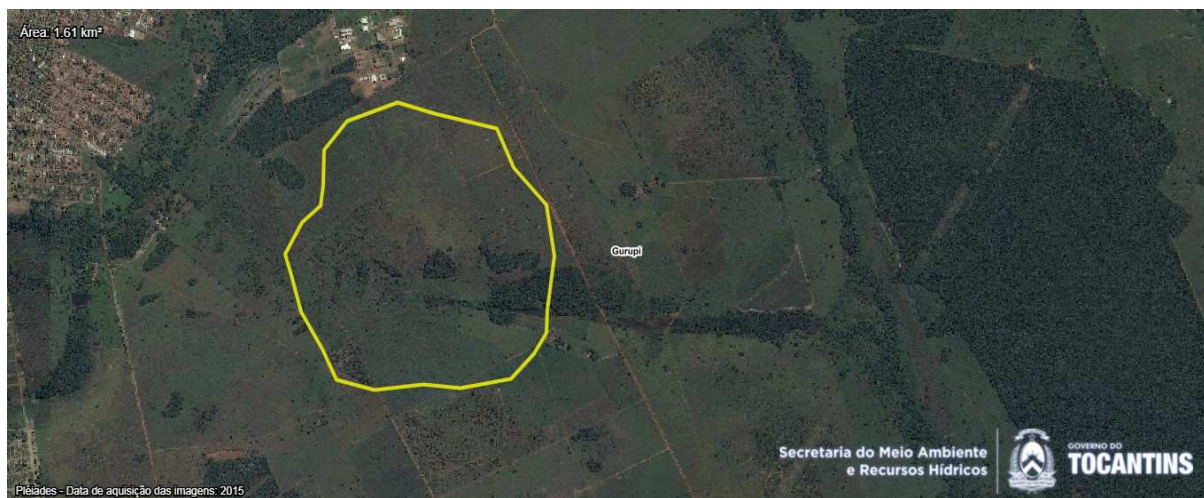
Fonte: Google Earth (2017)

A segunda ferramenta a ser utilizada para determinação da área da bacia é a Plataforma de Compartilhamento de Informações Geográficas PCI da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Tocantins SEMARH/TO, no sistema PCI foi utilizado a ferramenta de obtenção de área, assim localizado as coordenadas de cada ponto gerado no Google Earth criando um polígono com a informação da área da bacia, como mostra na Figura 11 e Figura 12.

**Figura 11 – Criação do polígono no sistema PCI**

Fonte: SEMARH/TO, (2017)



**Figura 12 – Área do polígono**

Fonte: SEMARH/TO, (2017)

O último método para identificar a área da bacia foi extraindo manualmente através de duas cartas topográficas, obtidas por meio do Geoportal do Exército Brasileiro.

Com as cartas topográficas da região de estudo impressa, foi localizado primeiramente a nascente do rio, que é o ponto mais alto da bacia, e o exutório escolhido. Em seguida foram analisadas as curvas de níveis que estão próximas ao curso do rio, observando os pontos mais altos e os mais baixos em seu percurso, obtendo assim os divisores de água, que são os delimitadores de bacias e sub-bacias hidrográficas. Após identificar todos os pontos divisores de água ao redor do rio de estudo, foi traçado uma linha ligando todos esses pontos, obtendo assim a bacia hidrográfica de estudo. Para iniciar o processo de cálculo da área da bacia, foi necessário transcrever o desenho da bacia a um papel milimetrado do tamanho A3 posicionado em baixo da carta topográfica com uma lapiseira ponta 0,7 por cima das curvas de nível com força suficiente para marcar o papel milimetrado em baixo da carta. Com o papel milimetrado já marcado a região da bacia foi reforçado os traços com a mesma lapiseira.

O papel milimetrado é formado por pequenos quadrados idênticos em toda sua superfície, um desses quadrados foi medido e assim obtendo a área de um quadrado do milimetrado. Os quadrados que ficaram no interior do polígono traçado foram contados, os quadrados que os traços passaram no meio foram contados como metade de um quadrado. Para finalizar foram somados os quadrados inteiros e as metades de quadrados resultando em uma área que foi convertida em escala real obtendo a área exata da bacia de estudo.

### 3.3.2 Declividade

Para a determinação da declividade da bacia, foi necessário extrair os dados de cota mais alta, cota mais baixa e a distância entre estes dois pontos, dados esses obtidos anteriormente através do programa Google Earth Pro, do sistema PCI e através da carta topográfica. A declividade foi obtida através da seguinte equação:

(Equação I)

$$D = \frac{CM - Cm}{L}$$

Em que:

D = Declividade (m);

CM = Cota mais alta da bacia (m);

Cm = Cota mais baixa da bacia (m);

L = Distância entre o ponto mais alto e o ponto mais baixo (m).

### 3.3.3 Tempo de Concentração

Para a determinação do tempo de concentração ( $t_c$ ), também se fez necessário extrair as informações do programa Google Earth Pro, do sistema PCI e através da carta topográfica. Os dados obtidos foram o comprimento ( $L$ ) em km da bacia e a diferença de altitude ( $\Delta h$ ) do rio principal em metros, após foi aplicado na seguinte equação:

(Equação II)

$$t_c = 57. \left( \frac{L^3}{\Delta h} \right)^{0,385}$$

### 3.3.4 Vazão

Para identificar as vazões máximas e mínimas do curso d'água, foi utilizado o método racional de cálculo e o método direto medido in loco. O método racional leva em consideração dados topográficos e hidrológicos como a área da bacia, as precipitações e um coeficiente, já com o método direto é identificado somente vazão no momento da medição.

### a) Método racional

Para desenvolver o cálculo pelo método racional, foi obtido primeiramente no sistema HidroWeb da Agencia Nacional de Águas ANA , o histórico de 10 anos das precipitações e suas durações na estação mais próxima à região da bacia hidrográfica de estudo que é a estação 1149002 localizada em Peixe-TO.

Os dados foram tabelados e extraído a precipitação media ( $I$ ) e a duração média ( $t$ ) no período, que posteriormente foi inserido na equação de  $IDF$  que é a seguinte:

(Equação VI)

$$i = \frac{a \cdot Tr^b}{(t + c)^d}$$

Em que:

$i$  = intensidade (mm/h);

$Tr$  = tempo de retorno (anos);

$t$  = duração da chuva (min);

$a, b, c, d$  = são parâmetros determinados para cada localidade, obtidos pelo programa *Plúvio*.

Equação do método racional:

(Equação V)

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{360}$$

Em que:

$Q$  = Vazão em (m<sup>3</sup>/s);

$C$  = Coeficiente de escoamento Run off (Quadro 1);

$I$  = Intensidade média de precipitação (mm/h);

$A$  = Área da bacia em (km<sup>2</sup>).

### b) Método direto:

Para obter a vazão do curso d'água pelo método direto foi aplicado o método de vazão volumétrica, que é determinada pelo escoamento da água da represa, no ponto onde foi idealizada a locação da usina, dentro de um determinado intervalo de tempo.

A realização desse método consistiu em marcar o tempo em segundos com um cronometro digital para o enchimento completo de um tambor de 200 litros de água que esco



pela a tubulação de PVC com diâmetro de 100mm ligada à represa como mostra na Figura 13. Fez-se necessário utilizar uma curva de raio longo de 90 graus na saída da tubulação para a água escoada fosse direcionada diretamente ao tambor de 200 litros.

**Figura 13** – Medição de vazão



Fonte: Autor, (2017)

Estas medições foram realizadas repetidas vezes e preenchida na Tabela 2 com os valores obtidos, posteriormente foi encontrada a média do valor da vazão. Este método é calculado pela seguinte equação:

(Equação XIII)

$$Q = \frac{Vol}{t}$$

Em que:

Q = Vazão (l/s)

Vol = Volume (litros)

t = Tempo (segundos)

**Tabela 2** – Cálculo de vazão

CÁLCULO DE VAZÃO			
Coleta	Volume (litros)	Tempo (segundos)	Vazão (l/s)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
<b>Média</b>			

Fonte: Autor, (2017)

### 3.3.5 Altura da queda d'água

Para obter a altura da queda d'água foi utilizado um procedimento simples, com utilização de dois pedaços de madeira de tamanhos iguais formando um ângulo de 90 graus uma na vertical e outra na horizontal como mostra na Figura 14. A medição começou do ponto mais baixo do aterro da represa subindo até o nível da água, como mostra na Figura 15. Para ter segurança dos valores obtidos, foi necessário a utilização de um nível na formação dos ângulos.

**Figura 14** – Equipamento utilizado para medir altura



Fonte: Autor, (2017)

**Figura 15** – Medição da altura de queda d'água

Fonte: Autor, (2017)

### 3.4 CÁLCULOS DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

Na etapa de identificação da demanda de energia elétrica e potência necessária, foi realizado um levantamento juntamente com o responsável pela propriedade com finalidade de coletar informações de consumo e valor pago de energia elétrica na propriedade, fazendo uso da Tabela 3 e identificando a média de cada valor.

**Tabela 3** – Histórico de consumo de energia elétrica

HISTÓRICO DE CONSUMO		
Mês/ano	Consumo (kWh)	Valor (R\$)

Fonte: Autor, (2017)

Para determinar a potência necessária capaz de suprir a demanda da fazenda, foram aplicados dois métodos de cálculo, o fator de demanda e o fator de carga, com base no preenchimento da Tabela 4, realizando um levantamento de todos os equipamentos elétricos em funcionamento na propriedade e seus respectivos consumos de energia elétrica.

**Tabela 4** – Inventário de aparelhos elétricos

INVENTÁRIO DE APARELHOS ELÉTRICOS			
Aparelho	Potência (kW)	Tempo de uso/dia (Horas)	Turno do uso

Fonte: Autor, (2017)

**a) Fator de demanda:**

É a relação entre a demanda máxima do sistema e a carga total conectada a ele durante um intervalo de tempo, considerando que os equipamentos elétricos não estarão ligados todos ao mesmo tempo. Foi calculado pela seguinte equação:

(Equação VII)

$$Fd = \frac{D_{\text{máx}}}{P_{\text{inst}}} \cdot 100$$

Em que:

Fd = Fator de demanda (%);

Dmáx = Demanda máxima (kW);

Pinst = Potência da carga instalada (kW).

**b) Fator de carga:**

É a razão entre a demanda média diária e a demanda máxima registrada no mesmo período de tempo. O sistema de carga da propriedade estudada que funciona dentro do determinado período de tempo estabelecido foi calculado pela seguinte equação:

(Equação VIII)

$$Fcd = \frac{Dméd}{Dmáx}$$

Onde:

Dmáx = Demanda máxima (kW);

Dméd = Demanda média (kW).

**3.5 CÁLCULOS FINANCEIROS****3.5.1 Fluxo de Caixa**

O valor mensal do fluxo de caixa, conforme a Tabela 5 é o valor que o proprietário vai economizar no pagamento de energia elétrica e rendimentos superiores da sua produção após a implantação da central geradora hidrelétrica.

**Tabela 5 – Fluxo de Caixa Anual**

FLUXO CAIXA ANUAL		
Ano	Fluxo Caixa (R\$)	Fluxo Caixa Acumulado (R\$)
0		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		

Fonte: Autor, (2017)

### 3.5.2 Pay-Back

O indicador de risco de projeto foi calculado pela equação seguinte:

(Equação XII)

$$Pb = \frac{Inv}{Fcx}$$

Em que:

Pb = Pay-Back (Anos);

Inv = Investimento inicial (R\$);

Fcx = Fluxo de caixa anual (R\$).

### 3.6 DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA

A determinação da potência final gerada pela central hidrelétrica em kW no local escolhido foi obtida através da vazão disponível encontrada e a altura de queda bruta da água. Esse potencial foi calculado pela seguinte equação:

(Equação XIV)

$$P = 7,16 \cdot H \cdot Q$$

Em que:

P = Potência (kW);

Q = Vazão (m<sup>3</sup>/s);

H = Altura da queda d'água (m).

## 4.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo estão apresentados os resultados decorrente da metodologia apresentada, iniciado pela identificação da área da bacia, seguido da declividade, tempo de concentração, vazão, altura de queda d'água, demanda e cálculos financeiros.

### 4.1 ÁREA DA BACIA

Os resultados dos cálculos de área da bacia pelos três métodos estão apresentados na Tabela 6 a seguir.

**Tabela 6** – Resultados da área da bacia

RESULTADO DA AREA DA BACIA	
MÉTODO	ÁREA (Km <sup>2</sup> )
Earth Pro	1,63
PCI	1,61
Cartas	1,58

Fonte: Autor, (2017)

Nos três métodos encontrou-se um valor de área próximo com uma margem de erro de 3% entre o maior resultado 1,63km<sup>2</sup> do Earth Pro e 1,58km<sup>2</sup> obtidos da carta topográfica. Para efeito de cálculo será considerado a média dos três valores:

(Equação XV)

$$Média = \frac{1,63 + 1,61 + 1,58}{3} = 1,61 \text{ km}^2$$

A bacia de estudo é considerada extremamente pequena, por esse motivo não foi possível calcular a área da mesma através do programa Arcgis. Nas várias tentativas o software não conseguiu identificar o ponto exutório para delimitar a área da bacia.

A nascente do córrego é muito próxima ao ponto determinado como exutório, esse motivo contribuiu para ter uma bacia hidrográfica muito pequena e o Arcgis não conseguir identificar a área.

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO DO RESERVATÓRIO

Considerando que o córrego tem uma nascente próxima a localização da barragem e seu volume de água é constante em todos os períodos do ano caracterizando um curso d'água perene, com essas informações podemos afirmar que temos um reservatório fio d'água.

## 4.3 DECLIVIDADE

Extraindo os dados anteriores de cota mais alta de 289 metros, cota mais baixa 277 metros e a distancia de 1350 metros, obtive a declividade através da seguinte equação:

(Equação I)

$$D = \frac{289m - 277m}{1350m} = 0,0089 \text{ m/m}$$

Resultado da declividade da bacia foi de 0,0089 metro por metro que é o mesmo a 0,89%.

## 4.4 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

Considerando que a área da bacia resultante de 1,61 km<sup>2</sup> é menor que 3,5km<sup>2</sup>, foi necessário utilizar a equação de Kirpich. Para a realização do cálculo do tempo de concentração foi utilizado os dados de comprimento com 1,35 km e diferença de altitude de 12 metros.

(Equação II) Kirpich

$$tc = 57. \left( \frac{1,35^3}{12} \right)^{0,385} = 30,97 \text{ minutos}$$

O resultado de aproximadamente 31 minutos é o tempo necessário para que a água proveniente da precipitação no ponto mais distante da bacia escoe até o ponto mais baixo, que neste caso o exutório.

## 4.5 VAZÃO

### a) Método direto

Para obter a vazão pelo método direto foram realizadas 10 repetições e preenchida a Tabela 2. Os valores do campo vazão de cada coleta foram obtidos através dos seguintes cálculos:



(Equação XIII)

$$Q_1 = \frac{200}{8,52} = 23,47 \text{ l/s} \quad Q_2 = \frac{200}{8,11} = 24,66 \text{ l/s} \quad Q_3 = \frac{200}{9,16} = 21,83 \text{ l/s} \quad Q_4 = \frac{200}{8,38} = 23,87 \text{ l/s} \quad Q_5 = \frac{200}{8,68} = 23,04 \text{ l/s}$$

$$Q_6 = \frac{200}{9,08} = 22,03 \text{ l/s} \quad Q_7 = \frac{200}{8,63} = 23,17 \text{ l/s} \quad Q_8 = \frac{200}{8,22} = 24,33 \text{ l/s} \quad Q_9 = \frac{200}{8,14} = 24,57 \text{ l/s} \quad Q_{10} = \frac{200}{8,26} = 24,13 \text{ l/s}$$

**Tabela 2** – Resultado das vazões

<b>CÁLCULO DE VAZÃO (DIRETA)</b>			
Coleta	Volume (litros)	Tempo (segundos)	Vazão (l/s)
1	200	7,52	26,60
2	200	7,59	26,35
3	200	8,16	24,51
4	200	7,58	26,39
5	200	7,51	26,63
6	200	8,08	24,75
7	200	7,53	26,56
8	200	8,02	24,94
9	200	7,45	26,85
10	200	7,51	26,63
Média			<b>26,02</b>

Fonte: Autor, (2017)

Estas vazões identificadas são consideradas pequenas, tendo em vista que as medições foram feitas no mês de julho, na época da estiagem, onde o tempo é mais seco e o volume de água é mais baixo. Se a mesma contagem fosse feita na época das chuvas esse volume de vazão poderia ser de 30 a 40% maior.

O projeto está considerando a tubulação existente na barragem que é de 100 milímetros em PVC, por esse motivo, também contribuiu para uma pequena vazão.

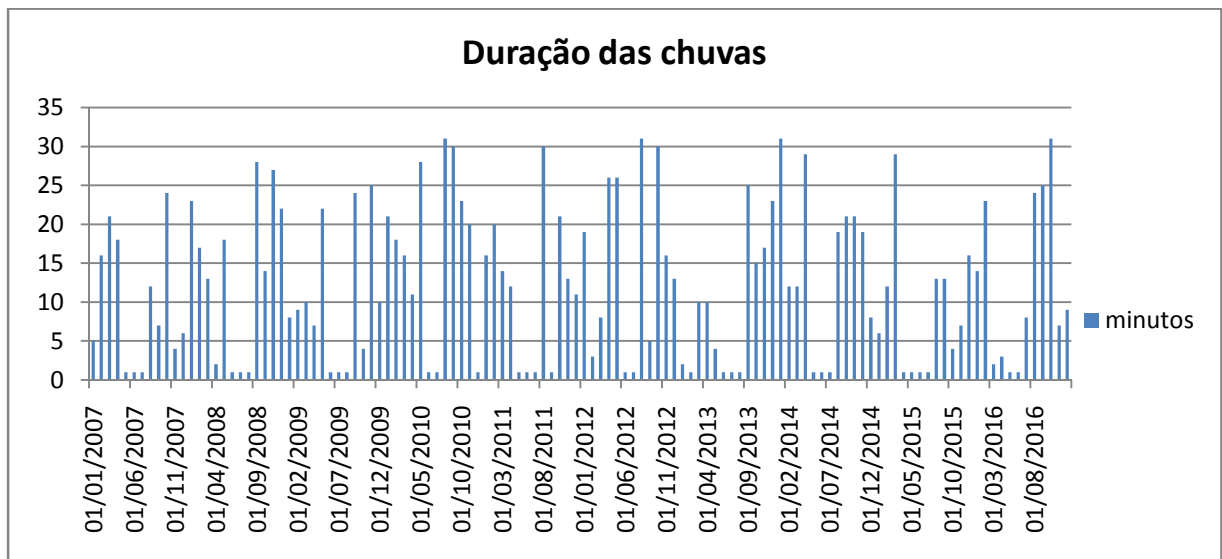
A contagem de tempo mesmo com cronometro apropriado para esse tipo de medida obteve uma pequena diferença entre as tentativas, por esse motivo optamos por fazer algumas tentativas sem contabilizar o tempo para apurar a técnica de iniciar e finalizar a medição.

A vazão que foi considerada para efeito de cálculo é a média das dez tentativas que resultou em 26,02 litros por segundo.

## b) Método Racional

Para desenvolver a equação do método racional, primeiramente foram obtidos os dados pluviométricos de tempo de duração para incluir na a equação de IDF. Com os dados obtidos foi desenvolvido um gráfico do histórico, conforme a Gráfico 1. Os dados completos do resultado da pesquisa pluviométrica estão dispostos no Anexo A.

**Gráfico 1** – Histórico de duração das chuvas



Fonte: Autor, (2017)

O tempo de retorno considerado para efeito de calculo é de 10 anos, a duração das chuvas de 30 minutos e os parâmetros  $a=4642,24$ ;  $b=0,162$ ;  $c=54,66$ ;  $d=1,051$ ; foram extraídos do programa *Plúvio 2.1*. Com todas as informações em mãos foi possível realizar a seguinte equação:

(Equação VI) IDF

$$i = \frac{4642,24 \cdot 10^{0,162}}{(35 + 54,66)^{1,051}} = 59,78 \text{ mm/h}$$

No desenvolvimento da equação do método racional foi necessário juntar os dados obtidos anteriormente de área da bacia =  $1,61 \text{ km}^2$ ; Intensidade pluviométrica =  $59,78 \text{ mm/h}$ ; Coeficiente =  $0,20$  de acordo com o Quadro 1.

(Equação V)

$$Q = \frac{0,2 \cdot 59,78 \cdot 1,61}{360} = 0,053 \text{ m}^3/\text{s} \text{ ou } 53 \text{ l/s}$$

#### 4.6 ALTURA DE QUEDA D'ÁGUA

Utilizando criteriosamente o método descrito no item 3.3.5, obtive uma altura de queda d'água de 4,5 metros. Essa altura foi considerada do nível da água do reservatório até o ponto de saída da tubulação.

A tubulação existente não aproveita totalmente a altura de queda d'água disponível, como mostra na Figura 16, pelo motivo de existir uma roda d'água no ponto final da tubulação. Esse equipamento necessita de uma altura de 2 metros em relação ao nível do solo para entrar em funcionamento.

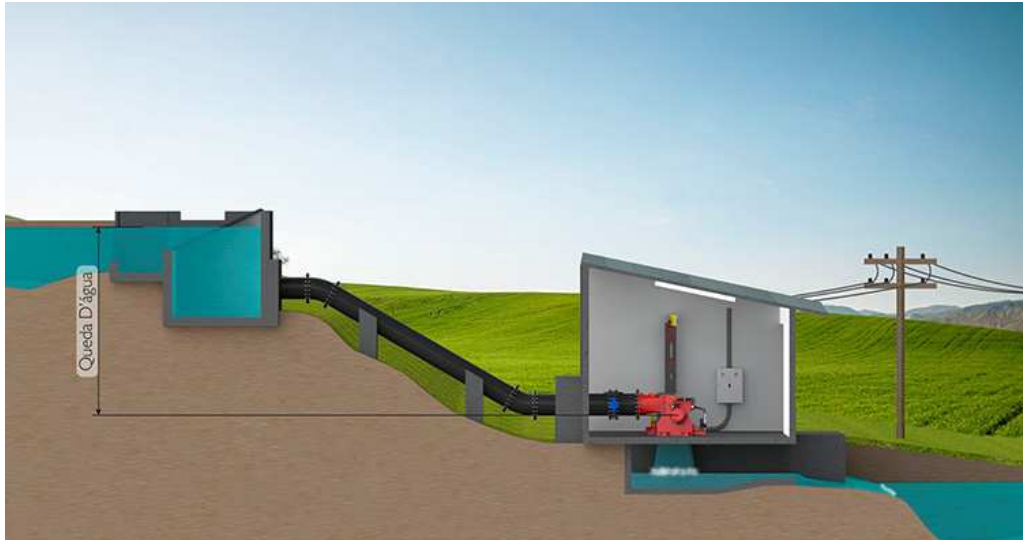
**Figura 16** – Roda d'água



Fonte: Autor, (2017)

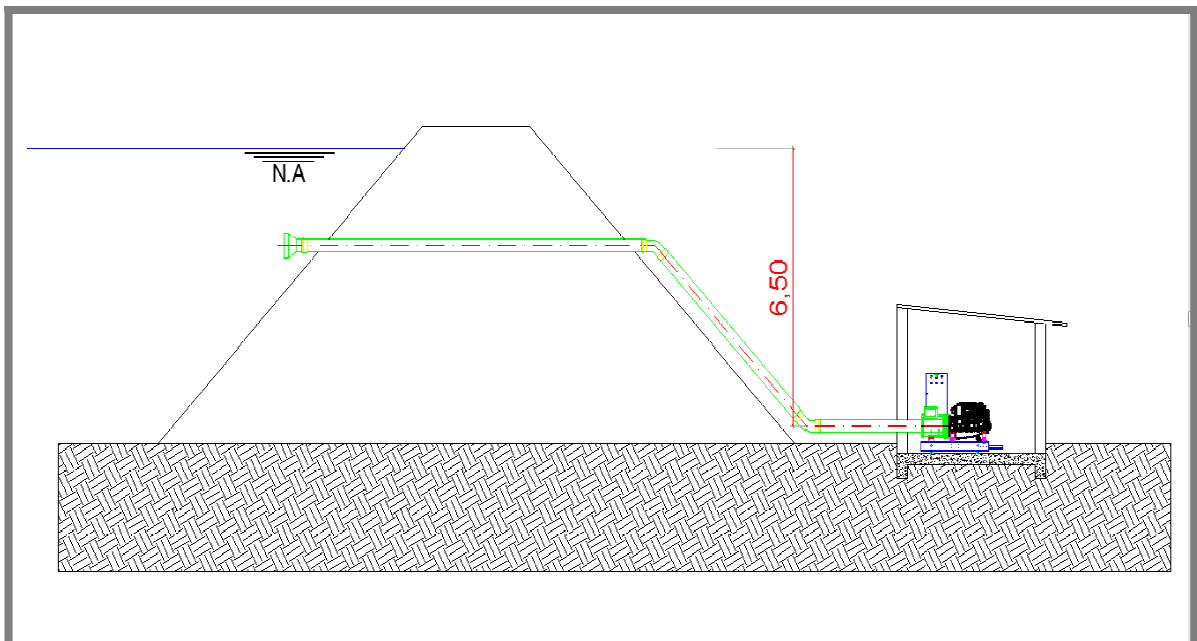
No dimensionamento deste projeto, serão removidos os equipamentos atuais e realizada a instalação de uma nova estrutura, como mostra na Figura 17.

Com a remoção da tubulação e a roda d'água, será disponibilizada uma área para a instalação da nova estrutura. Essa nova estrutura foi projetada mantendo a inclinação do da barragem em 45 graus tanto para montante e jusante, no ponto mais baixo a jusante da barragem foi projetada a base da central geradora em concreto armado, sobre essa base será instalado todos os equipamentos para geração de energia que também foi projetada para receber o impacto da água.

**Figura 17** – Altura de queda d'água

Fonte: Betta Hidroturbinas, (2017)

Essa nova estrutura tem um maior aproveitamento de queda d'água, com 6,5 metros de altura, que será considerado para efeito de cálculo como mostra o projeto na Figura 18.

**Figura 18** – Corte esquemático do projeto

Fonte: Autor, (2017)

#### 4.7 DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

Na etapa dos cálculos de demanda, foram realizadas algumas entrevistas com o responsável pela propriedade e também foram realizadas coletas de informações sobre faturas de consumo de energia elétrica, preenchido na Tabela 3.

Foi efetuado levantamento de todos os aparelhos elétricos com suas devidas potências e qual o período e tempo de uso de cada um deles, realizando o preenchimento na Tabela 4. No levantamento realizado, foram desconsiderados aparelhos eletrônicos de uso ocasional que consomem pouca energia elétrica, como por exemplo: carregadores de celular, fonte de notebook, aparelho de som, etc.

**Tabela 3** – Histórico de consumo de energia elétrica

HISTÓRICO DE CONSUMO		
MÊS/ANO	CONSUMO (Kwh)	VALOR (R\$)
06/2016	2320	2075,70
07/2016	2353	2105,23
08/2016	2398	2145,49
09/2016	2482	2220,64
10/2016	2432	2175,91
11/2016	2395	2142,80
12/2016	2265	2026,49
01/2017	2310	2066,75
02/2017	2274	2034,55
03/2017	2287	2046,18
04/2017	2212	1979,07
05/2017	2398	2145,49
06/2017	2351	2103,44
<b>Média</b>	<b>2344</b>	<b>2097,52</b>

Fonte: Autor, (2017)

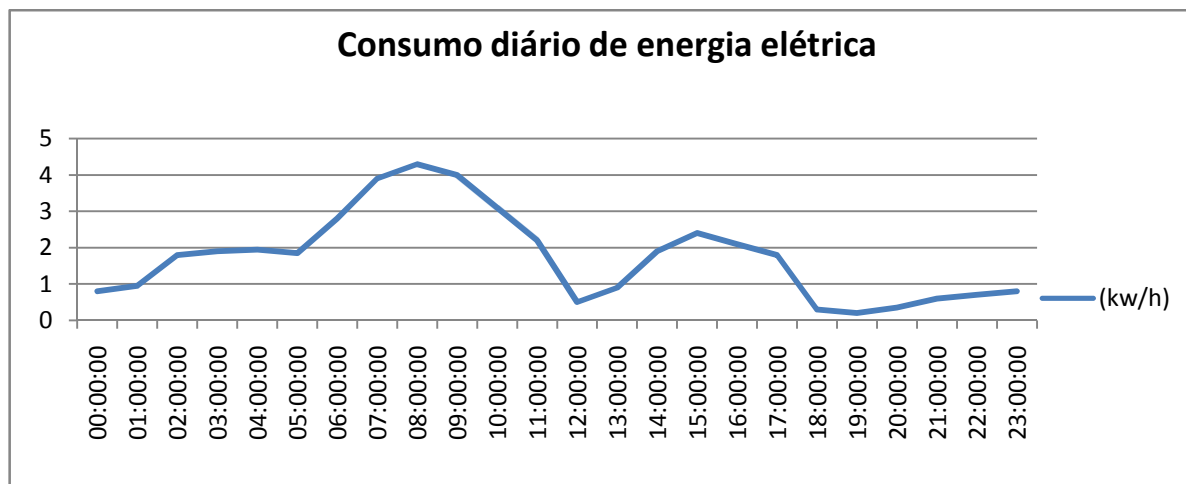
**Tabela 4 – Inventário dos aparelhos elétricos**

INVENTÁRIO DE APARELHOS ELÉTRICOS					
Qtd	Aparelho	Turno do uso	Potência (Kwh)	Tempo de uso/dia (Horas)	Consumo (Kwh/dia)
1	Aparelho televisor	Noite	0,25	4	1
1	Ar Condicionado	Noite	0,8	6	4,8
1	Ar Condicionado	Noite	1,2	6	7,2
1	Maquina de lavar roupa	Tarde	0,9	1	0,9
1	Geladeira	Manhã/Tarde	0,4	12	4,8
1	Freezer	Manhã/Tarde	0,3	12	3,6
12	Lâmpadas	Noite	0,1	8	9,6
4	Refletores	Noite	0,3	8	9,6
1	Cerca elétrica	Manhã/Tarde/Noite	0,01	24	0,24
1	Triturador	Tarde	3	0,5	1,5
1	Jato de água	Tarde	1,8	0,5	0,9
1	Ordenhadeira	Manhã	1,8	1,5	2,7
1	Resfriador de leite	Manhã	2,5	6	15
2	Bombas centrifugas	Tarde/Noite	1,5	6	18
<b>TOTAL</b>					<b>79,84</b>

Fonte: Autor, (2017)

#### 4.7.1 Fator de demanda

Para realizar os cálculos de demanda e fator de carga, primeiramente foi elaborado o Gráfico 2 com as informações de horas do dia e seu respectivo consumo, facilitando assim a visualização no decorrer do dia qual é o horário que tem o maior consumo de energia elétrica, formando um pico de consumo.

**Gráfico 2 – Consumo diário de energia elétrica**

Fonte: Autor, (2017)

Foi extraído do Gráfico 2 a demanda máxima no valor de 4,3 kwh e a potência da carga instalada de 15,86 kwh da Tabela 4, em seguida inserido na equação de fator de demanda.

(Equação VII)

$$Fd = \frac{4,30kwh}{15,86kwh} \cdot 100 = 28\%$$

O resultado do fator de demanda de 28% representa que a propriedade não tem um uso constante dos equipamentos elétricos, utilizando esses equipamentos que tem o maior consumo em pequenos intervalos de tempo e em horários em que o restante dos equipamentos normalmente estão desligados, ou seja, sem uso.

#### 4.7.2 Fator de carga diário

Utilizando os dados obtidos anteriormente na Tabela 4 e no Gráfico 2, foi realizado a média dos consumos diários de energia elétrica.

(Equação XVI)

$$Dméd = \frac{1 + 4,8 + 7,2 + 0,9 + 4,8 + 3,6 + 9,6 + 9,6 + 0,24 + 1,5 + 0,9 + 2,7 + 15 + 18}{14} \\ = 5,70 \text{ kwh}$$

Por fim aplicado na equação de Fator de Carga Diário:

(Equação VIII)

$$Fcd = \frac{5,70kwh}{18 \text{ kwh}} = 0,32$$

O resultado obtido do fator de carga de 0,32 representa que não esta sendo aproveitado 100% das instalações elétricas da propriedade, pelo motivo dos equipamentos elétricos de maior consumo de energia estar sendo utilizados em pequenos intervalos de tempo em horários em que os outros equipamentos elétricos permanecem desligados.

#### 4.8 DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA

A determinação da potência final gerada pela central hidrelétrica em kW no local escolhido foi obtida através da vazão disponível encontrada no valor de 26,02 l/s e a altura de queda bruta da água de 6,5 metros. Esse potencial foi calculado pela seguinte equação:

(Equação XIII)

$$P = 7,16 \cdot 6,5m \cdot 0,026 \text{ m}^3/s = 1,21 \text{ kw}$$

A potência final calculada de 1,21 kw é considerada pequena e insuficiente para geração de energia elétrica para todos os equipamentos da propriedade. Esse aproveitamento elétrico poderá ser utilizado para os aparelhos elétricos da residência que consomem menos energia elétrica, como por exemplo: lâmpadas, refletores, cerca elétrica, entre outros. Com isso, os equipamentos de maior consumo permaneceram utilizando energia da rede elétrica da concessionária.

Com o resultado não satisfatório de geração de energia elétrica pela central geradora, que não possibilitou atender a demanda completa da propriedade, foi formulada um novo inventário dos aparelhos elétricos que podem ser atendidos pela CGH, conforme a Tabela 7.

**Tabela 7** – Inventário de aparelhos elétricos atendidos pela CGH

APARELHOS ELÉTRICOS ATENDIDOS PELA CENTRAL GERADORA HIDRELÉTRICA					
Qtd	Aparelho	Turno do uso	Potência (KWh)	Tempo de uso/dia (Horas)	Consumo (KWh/dia)
1	Geladeira	Manhã/Tarde	0,4	12	4,8
1	Freezer	Manhã/Tarde	0,3	12	3,6
12	Lâmpadas	Noite	0,1	8	9,6
4	Refletores	Noite	0,3	8	9,6
1	Cerca elétrica	Manhã/Tarde/Noite	0,01	24	0,24
<b>Total</b>			<b>1,11</b>	<b>Total</b>	<b>27,84</b>

Fonte: Autor, (2017)

Considerando que os aparelhos elétricos relacionados na Tabela 7 permaneçam ligados todos ao mesmo tempo terão um consumo de 1,11 kWh que é inferior ao gerado pela CGH que é 1,21 kWh.



#### 4.9 CÁLCULOS FINANCEIROS

Para a realização dos cálculos financeiros de fluxo de caixa e retorno do investimento, primeiramente foi realizado algumas cotações de preço dos equipamentos necessários para a instalação da central geradora hidrelétrica em empresas especializadas. A empresa que obteve o menor preço foi a Beta Hidroturbinas, conforme a Tabela 8, que apresentou as seguintes informações:

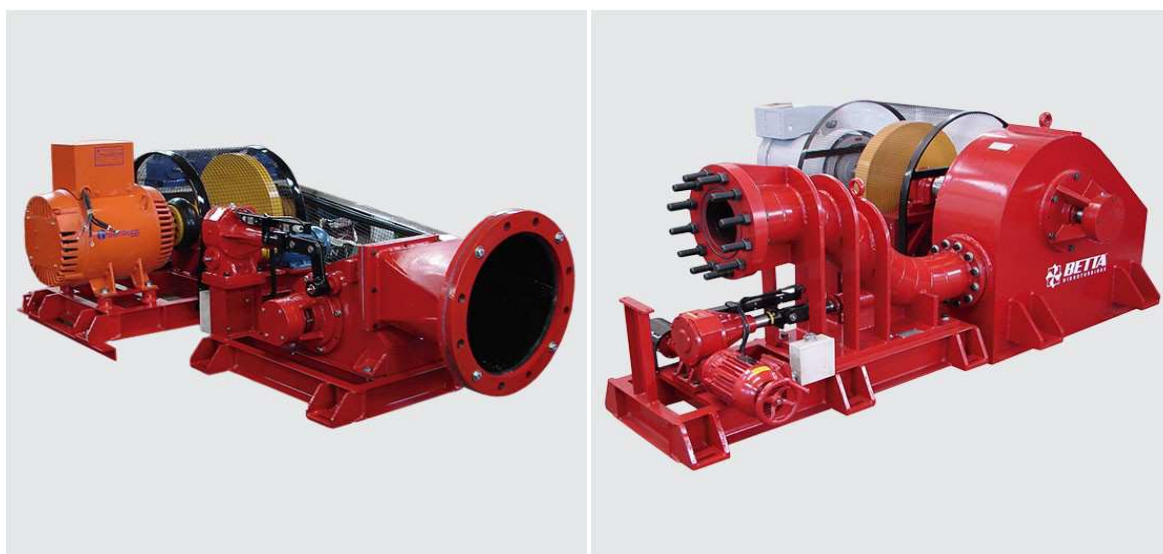
**Tabela 8 – Orçamento**

ORÇAMENTO					
Item	Descrição	Unid.	Qtd.	Preço Unitário	Preço Total
1	Turbina Hidráulica tipo Michell Banki, modelo BETTA;	UN	1,00	32.850,00	32.850,00
	Sistema de segurança de contra disparo;				
	Controle de vazão na turbina, acionamento manual;				
	Polias e correias multiplicadoras de rotação;				
	Chassis metálico para receber o conjunto;				
	Painel de controle elétrico;				
2	Mão de obra	UN	1,00	9.500,00	9.500,00
<b>TOTAL</b>					<b>42.350,00</b>

Fonte: Autor, (2017)

A proposta encaminhada pela Beta Hidroturbinas veio com imagens dos equipamentos em anexo, conforme a Figura 19.

**Figura 19 – Turbinas Michell banki modelo Beta**



Fonte: Beta Hidroturbinas, (2017)

Com o valor de investimento necessário para realização do projeto possibilitou obter os resultados financeiros de fluxo de caixa e o principal, tempo de retorno do investimento.

#### 4.9.1 Fluxo de caixa

Na análise do fluxo de caixa anual, foi considerado na Tabela 5 somente o investimento inicial de 42.350,00 reais no ano zero e as despesas com contas de energia elétrica no decorrer dos anos.

Para efeito de cálculo, foi considerada a média de consumo de energia elétrica mensal proporcional ao consumo dos aparelhos que estão atendidos pela CGH, sendo assim, antes da instalação da CGH o valor gasto com energia elétrica era em média 2.100,00 reais e após a instalação da Central Geradora esse valor diminuiu para 1.215,00 reais em média, uma economia de 885,00 reais por mês e R\$10.620,00 por ano, representando 35% de redução na conta de energia.

**Tabela 5 – Fluxo de Caixa Anual**

FLUXO CAIXA ANUAL		
Ano	Fluxo Caixa (R\$)	Fluxo Caixa Acumulado (R\$)
0	42.350,00	42.350,00
1	-10.620,00	31.730,00
2	-10.620,00	21.110,00
3	-10.620,00	10.490,00
4	-10.620,00	0,00

Fonte: Autor, (2017)

Com o investimento inicial e os pagamentos anuais de energia elétrica representado no fluxo de caixa, mostrou que zerou em menos de três anos, ou seja, considerando a economia na conta de energia elétrica, em menos de três anos o proprietário da fazenda teria retorno do investimento na central geradora hidrelétrica.

#### 4.9.2 Recuperação do Investimento (Pay-Back)

A equação de retorno de investimento considerou para investimento o valor de 42.350,00 reais e um fluxo de caixa anual de 10.620,00 reais, obtendo o seguinte resultado.

(Equação XII)

$$Pb = \frac{42.350,00}{10.620,00} = 3,99 \text{ anos}$$

A equação de Pay-Back resultou em aproximadamente 4 anos, confirmando o resultado anterior do fluxo de caixa. Este resultado mostra que considerando a economia no pagamento de energia elétrica, a recuperação do valor investido será de 3 anos e 11 meses após a instalação da central geradora hidrelétrica.

## 5.0 CONCLUSÕES

O processo de desenvolvimento de um trabalho requer conhecimentos técnicos e teóricos, aliados as habilidades adquiridas no decorrer do curso e a apropriação de tudo o que se propõe e planejou realizar, evidenciando, o gostar do que se está realizando.

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou um aprendizado a mais, algo que fez-me perceber realmente o quanto é gratificante, importante, necessário, essencial a figura do Engenheiro Civil, nas mais diversas áreas afins.

Este trabalho está pautado na identificação do potencial hídrico de uma pequena barragem, localizada em uma propriedade rural, no município de Gurupi-TO, para a instalação de uma Central Geradora Hidrelétrica de pequeno porte. Possibilitou também, uma pesquisa em campo para obter informações de extrema relevância para o desenvolvimento deste projeto.

Ao longo de muito estudo e pesquisas, foi possível identificar um alto consumo de energia elétrica por esta propriedade, em média 2300 kWh por mês, devido à utilização de equipamentos de grande potência como: bombas, trituradores, jato de água e resfriadores.

O resultado do estudo hidrológico identificou um pequeno potencial para a geração de energia elétrica, que estão expostos, mediante os dados obtidos de área da bacia de 1,61 km<sup>2</sup>, vazão direta de 26,0 l/s na tubulação de 100 milímetros na saída da represa e altura de queda d'água de 6,5 metros.

Para determinar o potencial de geração de energia elétrica da CGH levou - se em consideração, os resultados obtidos no estudo hidrológico; os quais, através de equações possibilitaram identificar a potência máxima de 1,21 kW.

Com o resultado da potência final da CGH, foi facilmente entendido que a energia elétrica gerada por ela, não seria capaz de suprir por completa a demanda da propriedade, então, foi identificado os equipamentos elétricos de menor potência para suprir a demanda parcial da fazenda; logo, poderiam ser atendidos pela central geradora hidrelétrica, entre eles: lâmpadas, refletores e cerca elétrica.

Com a instalação da central geradora hidrelétrica, embora, não suprimindo toda a demanda da propriedade, obteve uma economia de 35% do valor pago na conta de energia elétrica.

Vale ressaltar que os cálculos financeiros para avaliar o tempo de retorno do investimento, levaram em consideração; a economia no valor pago, em energia e o valor do investimento. Observa-se também que estes cálculos resultaram que em aproximadamente (4) quatro anos após a instalação da CGH o investidor terá o retorno do valor investido.

Embora não atendendo 100% da demanda de energia elétrica da propriedade; este projeto pode ser considerado viável. Além de trazer benefícios financeiros, acarreta suporte em segurança, tendo em vista que a usina estará gerando energia elétrica 24 horas por dia, podendo ser alternado, durante o dia gerando energia para equipamentos elétricos da residência, e durante a noite para instalações de segurança, como iluminação, refletores, câmeras de segurança, alarme, cerca elétrica, etc.

## REFERÊNCIAS

Organização das Nações Unidas. **Relatório Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA)**. Nairobi, Quênia. 2016. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/agencia/pnuma/>>. Acesso em: 22 Fev. 2017.

BELICO, Lineu. **Geração de Energia Elétrica**. 2 ed. São Paulo: Manole, 2011.

BERTI, Gerson Pedro. **Artigo Energias renováveis: uma tendência mundial**. Florianópolis, 2017.

Associação Brasileira de Pequenas Hidrelétricas ABRAPCH. **PCH, Benefícios das Pequenas Usinas**. Curitiba, 2016. Disponível em: <<http://www.abrapch.org.br/pchs/beneficios-das-pequenas-usinas>> Acesso em: 22 Fev. 2017.

MULLER, Arnaldo Carlos. **Hidrelétricas, meio ambiente e desenvolvimento**. São Paulo: Makrin Boks, 1996.

BRAGA, Roberto. **Fundamentos e Técnicas de Administração Financeira**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 1989.

ALVES, Gilberto Manoel. **Avaliação da Viabilidade e Implementação de uma Micro Central Hidrelétrica para Atender Consumidores Localizados em Regiões Isoladas**. Botucatu. Tese de Doutorado pela Universidade Estadual Paulista . 2007

Presidência da Republica. Casa Civil. **Medida Provisória nº735. 2016. Lei nº 13.360 de 17 de Novembro de 2016**. Brasília. 2016. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2015-2018/2016/lei/L13360.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2015-2018/2016/lei/L13360.htm)> Acesso em: 22 Fev. 2017.

AMARAL, Cristiano Abijaode; PRADO, Fernando Amaral. **Pequenas centrais hidrelétricas no Estado de São Paulo**. São Paulo: Pagina & Letras, 2000.

SOUSA, Alceu; CLEMENTE, Ademir. **Decisões Financeiras e Análise de Investimentos: Fundamentos, Técnica e Aplicação**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2001.

MARTINS, Eliseu; ASSAF, Alexandre Neto. **Administração Financeira: As Finanças das Empresas Sob Condições Inflacionarias**. São Paulo: Atlas, 1986.

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, **BIG – Banco de Informação de Geração**. Brasília. 2017. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>> Acesso em: 20 Mar. 2017.

BRASIL. Agencia Nacional de Energia Elétrica ANEE. **Capacidade do Brasil para Geração de Energia Elétrica**. 2007. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>> Acesso em: 20 Mar. 2017

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: Ed. da Universidade/UFRGS, ABRH, 1998.

PINHEIRO, Mário Cicareli. **Diretrizes para Elaboração de Estudos Hidrológicos e Dimensionamento Hidráulicos de Obras de Mineração**. Porto Alegre: ABRH, 2011.

BRASIL. Agencia Nacional de Energia Elétrica ANEEL. **Atlas de Energia Hidráulica**. 2009. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas\\_par2\\_cap3.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap3.pdf)> Acesso em: 20 Mar. 2017.

GARCES, Lucas Nogueira; ALVAREZ, Guillermo Costa. **Hidrologia**. 2 ed. São Paulo: Ed. Edigard Blucher, 1988.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2 ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, ABRH, 2001.

VOITH. **Pequenas Centrais Hidrelétricas**. Heidenheim, Alemanha. 2017. Disponível em: <<http://voith.com/br/produtos-e-servicos/energia-hidreletrica/pequenas-centrais-hidreletricas-552.html>> Acesso em: 14 Abr. 2017.

RIGHETO, Antonio Marozzi. **Hidrologia e Recursos Hídricos**. São Paulo: USP/EESC, 1998.

CREDER, Helio. **Instalações Elétricas**. 13 ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora, 1999.

COTRIM, Ademaro A. M. B. **Instalações Elétricas**. 3 ed. São Paulo: Makron Books, 1992

Centrais Elétricas Brasileiras S.A – ELETROBRAS. **Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas**: Brasília, 2000.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais**. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 2011.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Programa Fundo Clima**. Brasília. 2017. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/programa-fundo-clima/fundo-clima-energias-renovaveis.html>> Acesso em: 20 Mar. 2017.

ENSUS ADEANCED ENGINEERING. **Métodos de medição in loco**. São Paulo. 2017. Disponível em: <<http://ensus.com.br/>> Acesso em: 20. Mar. 2017.