

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

GEOVANE POLESE SZNICER

**ESTUDO DE VIABILIDADE HIDRÁULICA PARA A CONSTRUÇÃO DE
UMA MINI CENTRALHIDRELÉTRICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2015

GEOVANE POLESE SZNICER

**ESTUDO DE VIABILIDADE HIDRÁULICA PARA A CONSTRUÇÃO DE
UMA MINI CENTRAL HIDRELÉTRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Elétrica da Coordenação de Engenharia Elétrica – COELT – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Prof. Ms. César Augusto Portolann

PATO BRANCO

2015

TERMO DE APROVAÇÃO

O trabalho de diplomação intitulado **ESTUDO DE VIABILIDADE HIDRÁULICA PARA A CONSTRUÇÃO DE UMA MINI CENTRAL HIDRELÉTRICA** foi considerado **APROVADO** de acordo com a ata da banca examinadora N° **70** de 2015.

Fizeram parte da banca os professores:

César Augusto Portolann

Beatriz Antonina Fontana de Vargas

Géremi Gilson Dranka

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a meus familiares, professores, amigos e outras pessoas que estiveram ao meu lado, ou que me ajudaram indiretamente, passando força, otimismo e perseverança, para que este trabalho fosse concluído.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, acima de tudo, a Deus por ter iluminado e ficado ao meu lado nos momentos de trevas. Estive preso e o Senhor me resgatou; perdido, mas me mostraste o caminho, sozinho, mas me amparaste; aflito, mas me consolaste, cansado mas carregaste a minha cruz; estive morto mas concedestes novamente a minha vida.

Agradeço a cada pessoa que Deus colocou na minha vida nesta caminhada, meus familiares, o Sr. Paulo Sznicer e Sra. Inês Polese Sznicer, meu irmão Gean Paulo Polese Sznicer e aos outros que não foram citados neste texto; ao meu orientador César Augusto Portolann e os demais professores da UTFPR, amigos e colegas de curso, as faxineiras e cozinheiras, e todos que colaboram de alguma forma para a realização deste trabalho de conclusão de curso.

EPÍGRAFE

In the beginning was the Word, and the Word was with God, and the Word was God. The same was in the beginning with God. All things were made by him; and without him was not anything made that was made. In him was life; and the life was the light of men. (GOSPEL ACCORDING TO SAINT JOHN).

No começo a palavra já existia a palavra, e estava voltada para Deus, e a palavra era Deus. No começo ela estava voltada para Deus. Tudo foi feito por meio dela, e, de tudo o que existe, nada foi feito sem ela. Nela estava a vida, e a vida era a luz dos homens. (EVANGELHO SEGUNDO SÃO JOÃO).

RESUMO

SZNICER, Geovane Polese. **Estudo de Viabilidade Hidráulica para a Construção de uma Mini Central Hidrelétrica**. 2015. 45 f. Monografia – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2015.

Não é novidade do grande aumento no consumo de energia elétrica, porém o custo da energia elétrica está demasiadamente alto, surgindo assim a necessidade, quando possível, a geração de energia elétrica para consumo próprio. Há diversas alternativas de geração de energia, desde fotovoltaicas, eólicas, e também, quando houver a disponibilidade de rios, centrais hidrelétricas de pequeno porte. O presente trabalho é focado na oportunidade de construir uma central geradora hidrelétrica na propriedade rural de Ary Prebianca Polese. Como contribuição, o trabalho mostra as vantagens e benefícios proporcionados ao produtor, independentemente conectar uma unidade geradora a um sistema de distribuição. Também aborda os temas de hidrodinâmica, teorema de Bernoulli, cálculo de área, medidas aritméticas, grupo gerador, turbinas hidráulicas e geradores elétricos. Mostra o levantamento topográfico às margens do rio Jacutinga, onde foi realizado o estudo. Retrata o comportamento do rio Jacutinga por um período de seis meses. Todos os conceitos e informações que são descritos no trabalho foram utilizados para a escolha da turbina, dimensionamento de tubulação e escolha do gerador.

Palavras-chave: Unidade Geradora, Central Geradora Hidrelétrica, Sistema de Distribuição, Turbinas Hidráulicas, Geradores Elétricos.

ABSTRACT

SZNICER, Geovane Polese. **Hydraulic Feasibility Study for the Construction of a Mini Hydroelectric Power Plant**. 2015. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2015.

Unsurprisingly the large increase in the consumption of electricity, however the cost of electricity is too high, thus resulting in the need, where possible, to generate electricity for own consumption. There are several alternative power generation from photovoltaic, wind, and also, when the availability of rivers, small hydroelectric plants. This work is focused on the opportunity to build a hydroelectric generating plant in the country estate of Ary Prebianca Polese. As a contribution work shows the advantages and benefits provided to the independent producer of connecting a generating unit to a distribution system. Also touches on the subjects of hydrodynamics, Bernoulli's theorem, area calculation, arithmetic measures, generator, hydraulic turbines and electric generators. Shows surveying the river banks Jacutinga which is being carried out the study. It shows the behavior of the river Jacutinga for a period of six months. All information and concepts that are described in the work will be used to select the turbine pipe dimensioning and choice of the generator.

Keywords: Generating Unit, Central Hydroelectric Generating, Distribution System, Hydraulic Turbines, Electrical Generators.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Tubo de Corrente.	19
Figura 2. Gráfico de $f(x)$ do retângulo.	25
Figura 3. Gráfico de $f(x)$ do círculo.	26
Figura 4. Divisão do Círculo em Quadrantes.	26
Figura 5. Componentes de GG de eixo horizontal e acoplamento direto.	27
Figura 6. Componentes de GG de eixos horizontal de amplificação de rotação.	28
Figura 7. Corte longitudinal da instalação de GS com gerador a jusante e denominação de componentes.	29
Figura 8. Instalação do GGS com eixos vertical e horizontal.	27
Figura 9. GB com denominação de seus principais componentes.	28
Figura 10. THT com designação de seus principais componentes.	33
Figura 11. Ponto de estudo para a construção de uma CGH.	33
Figura 12. Isoípsa das margens do rio Jacutinga.	35
Figura 13. Visão mais afastada das isolinhas das margens do rio Jacutinga.	36
Figura 14. Visão focada nas isolinhas mais próxima da cachoeira.	37
Figura 15. Representação das margens do Rio Jacutinga e os pontos de coletas dos dados de profundidade.	38
Figura 16. Depthmate portable sounder --- MODEL SM-5.	38
Figura 17. Fluxograma do Trabalho de Conclusão de Curso.	49

LISTA DE QUADRO

Quadro 1. Dados técnicos do Depthmate Portable Sounder - Model SM-5.	39
---	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Comportamento mensal do nível de água do rio Jacutinga.	41
Gráfico 2. Região de operação das turbinas; Altura (H (m)) X Vazão (Q (m ³ /s)).	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dados do comportamento do nível da água do rio Jacutinga por um período de um semestre em 2014.....	40
Tabela 2. Dados do tempo gasto para o flutuador percorrer o percurso do ponto 15 metros até o ponto 5 metros ($\Delta x = 10$ metros).	41
Tabela 3. Dados do tempo médio gasto para o flutuador percorrer um percurso de 10 metros.	42
Tabela 4. Média dos valores Dados com os valores médio do comportamento do nível da água do rio Jacutinga em 2014.....	42
Tabela 5. Resultado dos cálculos de vazão, potência mecânico – hidráulica e modelo de turbina.	43
Tabela 6. Dados de potência, corrente, peso e frequência do gerador síncrono modelo EISE (Brushless).	44
Tabela 7. Dados do diâmetro e área da tubulação.....	44

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. DESENVOLVIMENTO	16
2.1 HIDRODINÂMICA E TEOREMA DE BERNOULLI	16
2.1.1 Conservação de energia	16
2.1.2 Linhas de tubos de corrente	17
2.1.3 Classificação dos Movimentos	17
2.1.4 Propriedades dos fluidos	18
2.1.5 Teorema de Bernoulli para líquidos	19
2.2 HIDRODINÂMICA	21
2.2.1 Conservação de energia	21
2.3 MÉDIA ARITMÉTICA	23
2.3.1 Média aritmética simples	23
2.3.2 Média aritmética ponderada	23
2.4 CÁLCULO DE ÁREA	24
2.4.1 A integral definida	24
2.4.1.1 Área do retângulo	24
2.4.1.2 Área do círculo	25
2.5 GRUPO GERADOR	27
2.5.1 Componentes	27
2.5.1.1 Grupo gerador S	27
2.5.1.2 Grupo gerador bulbo	30
2.5.1.3 Geradores elétricos (características)	31
2.6 TURBINAS HIDRÁULICA – TH	32
2.6.1 Turbinas Hidráulicas Tubulares	32
2.6.1.1 Conceito – tipos	32
3. METODOLOGIA	34

3.1 ANÁLISE DO PROBLEMA	34
3.2 INFORMAÇÕES DO LOCAL DE ESTUDO	34
4. APLICAÇÃO DA TEORIA	42
4.1 ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES	42
5. CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS.....	46
ANEXOS	45

1. INTRODUÇÃO

Vive-se em um planeta dinâmico, a cada dia há o surgimento de uma nova tecnologia impulsionando o aumento no consumo de energia elétrica. Segundo o relatório *Perspectives on the supply and international demand for energy to 2030* da petrolífera *America Exxon Mobil* (FOLHA UOL, 2012), a demanda mundial de energia em 2030 será aproximadamente 35% maior do que a de 2005. O relatório teve como base um crescimento anual de 2,7% do Produto Interno Bruto (PIB) mundial, e que a população mundial terá um aumento de 6,7 bilhões para 8 bilhões.

Atualmente a maioria das fontes de energia elétrica, a nível mundial, é proveniente de hidrocarbonetos como gás natural, petróleo, carvão, que são comumente conhecidos como “combustíveis fósseis” (*BRITISH BROADCASTING CORPORATION*, 2012). A nível nacional, o Brasil possui, em média, 69,73% de sua matriz energética proveniente de fontes renováveis (*PORTAL DA ENERGIA*, 2012), no qual aproximadamente 68% são gerados por meio de energia hidráulica.

Embora muitos ambientalistas sejam contra a utilização de recursos hídricos para a geração de energia, com o risco de falta de energia elétrica e com o vasto potencial hidráulico a ser explorado no país; a projeção é que a energia hidráulica continue sendo, por muito tempo, a principal fonte de geração.

Existem muitos incentivos para a geração de energia elétrica, por meio de aproveitamento hidráulico, principalmente para a iniciativa privada; existem descontos nas tarifas de uso do sistema elétrico de transmissão e distribuição para as Centrais de Geração Hidrelétrica (CGH) e para Pequenas Centrais de Geração Hidrelétricas (PCH), como está descrito na Lei 11.488, de 15 de junho de 2007. Outras vantagens para a geração hidráulica são oferecidas no Art. 5º e no Art. 13º do Decreto nº 2.003 (*BRASIL, DECRETO nº 2.003, 2012*).

O Art. 5º do Decreto nº 2.003 determina que

o aproveitamento de potencial hidráulico igual ou inferior a 1.000 kW e a implantação de usina termelétrica de potência igual ou inferior a 5.000 kW independem de concessão ou autorização, devendo, entretanto, ser comunicados ao órgão regulador e fiscalizador do poder concedente, para fins de registro (*BRASIL; DECRETO nº 2.003, 2012*)

Para a construção de pequenas hidroelétricas ou termoelétricas, não é necessário autorização, mas sim de um registro na ANEEL, sendo que o processo de registro deve ser gratuito.

O Art. 13º do Decreto nº 2.003 determina que,

para garantir a utilização e a comercialização da energia produzida, o produtor independente e o autoprodutor terão assegurado o livre acesso aos sistemas de transmissão e de distribuição de concessionárias e permissionários de serviço público de energia elétrica, mediante o ressarcimento do custo de transporte envolvido (BRASIL; DECRETO nº 2.003, 2012).

O estado do Paraná está, novamente, fornecendo autorização para concessão de licenciamento ambiental para a construção de PCHs e CGH. A autorização de licença ambiental para estes empreendimentos esteve suspensa por décadas (PARANÁ PORTAL CIDADÃO, 2013).

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) trabalha desenvolvendo um Sistema de Compensação de Energia, que permite ao consumidor instalar pequenos geradores na sua unidade consumidora e injetar energia na rede em troca de créditos. Porém, para que o produtor possa injetar a energia na rede de distribuição, deve ser proveniente de fontes renováveis (solar, eólica, biomassa, hídrica), e a cogeração deve ser qualificada. (PORTAL DA ENERGIA, 2012). A quantidade de energia que poderá ser injetada na rede dependerá da estrutura da rede que passa nas proximidades do local da geração e, como se trata de pequenos geradores, a quantidade de energia gerada também será pequena.

Existem diferentes nomenclaturas para a geração hidráulica dependendo da sua capacidade de geração. As CGHs são unidades geradoras com capacidade de geração de até 1000 kW. Dentro deste grupo estão as Mini Centrais Hidrelétricas (Mini CH) que tem capacidade de geração entre 100 kW e 1000 kW e Micro Central Hidrelétrica (Micro CH) que tem capacidade de geração inferiores a 100 kW (BRAGA, 1999). Estas estão em operação na matriz energética nacional 331 CGH (BRASIL, PORTAL DO BRASIL, 2014).

A construção de CGH não soluciona o problema do déficit de energia que a nação Brasileira poderá sofrer nos próximos anos, mas ameniza o problema, poderá proporcionar também, uma fonte de renda ou descontos na fatura de energia.

As centrais hidrelétricas produzem energia elétrica aproveitando a força das águas de um rio ou de um reservatório, sendo esta uma ótima alternativa para geração de energia, principalmente para produtores rurais que possuem propriedades as margens de rios com regime de vazão perene, bom fluxo e desnível razoável; os valores aceitáveis de vazão e desnível geográfico variam de acordo com a potência da unidade geradora que se pretende instalar.

Nesta classe de geração hidráulica se enquadra a situação da propriedade rural do Sr. Ary Prebianca Polese, situada na localidade de Jacutinga, Município de Coronel Vivida - PR, a qual está à margem do rio Jacutinga. A mesma possui vazão perene acima de 3 m³ e também um desnível de leito de rio razoável que dependendo do local é superior a 2 metros.

Nesta propriedade rural houve uma boa oportunidade de realizar um estudo de viabilidade hidráulica para a construção de uma Mini CH. Ela apresenta um ótimo potencial hídrico e está ligada a um sistema trifásico, o que facilitaria a conexão da Mini CH com a rede elétrica.

Este trabalho de conclusão de curso teve como objetivo encontrar um potencial energético capaz de suprir as necessidades da propriedade do rural do Sr. Ary Prebianca Polese e que o excedente da energia elétrica produzida fosse vendida para pagar as despesas de manutenção da Mini CH. O trabalho apresenta a estimativa de vazão da água do rio Jacutinga no ponto onde existe a possibilidade de construir a Mini CH. Também mostra um estudo da profundidade do rio, o montante do local da queda da água; o levantamento topográfico do local para saber qual seria a possível área de inundação, caso fosse construída uma barragem para aumentar a altura da queda de água.

Com base nos valores obtidos para vazão, profundidade, levantamento topográfico e altura de barragem foi estimado o valor de potência bruta que seria possível gerar. Também foi estimado o tamanho da tubulação que seria utilizada para o escoamento da água, a escolha da turbina e do gerador que se encaixam neste projeto.

Para auxiliar na compreensão do desenvolvimento do trabalho foi elaborado um fluxograma que pode ser observado no item anexos, figura 17, no final do trabalho, que mostra como o trabalho de conclusão de curso foi estruturado e desenvolvido.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 HIDRODINÂMICA E TEOREMA DE BERNOULLI

Nas subseções seguintes serão abordados alguns conceitos importantes para a compreensão e desenvolvimento do trabalho. Os conceitos de conservação de energia são utilizados para a escolha da melhor forma de converter energia; o estudo de linhas de tubos de correntes para entendermos como é o comportamento do fluido quando submetida a sua passagem por uma determinada tubulação. O estudo de classificação de movimentos foi utilizado para determinar a vazão do rio. O entendimento do Teorema de Bernoulli para líquidos e propriedade dos fluidos foi de grande importância para determinar a altura da barragem e o tamanho do diâmetro da tubulação. A subseção que discorre a respeito da conversão de energia explica como se determinou a potência hidráulica existente no local de estudo. A teoria de cálculo de área foi utilizada para determinar o diâmetro da tubulação de escoamento da água e a área da seção transversal do rio. O conceito de média aritmética foi utilizado para determinar a vazão média do rio.

2.1.1 Conservação de energia

A energia pode ser transformada de uma forma para outra, ou seja, a energia potencial pode ser transformada em energia cinética e, em decorrência, de energia cinética para energia elétrica. A energia também pode ser transferida de um corpo para o outro, mas o ser humano ainda não descobriu uma forma de “criar” ou “gastar” energia, estes são mistérios reservados para Deus (MARQUES, 2014).

O conceito de conservação afirma em seu princípio, que a energia total de um sistema isolado é sempre constante. O termo isolado instiga que o sistema não interage com outros sistemas, sendo assim, não há troca de energia, ela é conservativa (MARQUES, 2014).

2.1.2 Linhas de tubos de corrente

De acordo com Azevedo (1998), para líquidos em movimento, as linhas de corrente são linhas orientadas segundo a velocidade do líquido, sendo que estas possuem propriedades que não são atravessadas pelo fluido, não interceptando nenhuma de suas partículas. Ponto a ponto da linha de corrente passa uma partícula animada com velocidade V , no instante de tempo T .

Para Azevedo (1998), o tubo de corrente é um tubo imaginário envolvido por um grupo de linha de corrente. Sendo a parede do tubo formada por linha de corrente, não há fluxo de líquido através dela; sendo que estas são curvas que no instante T , mantêm-se tangentes em cada ponto à velocidade V .

2.1.3 Classificação dos Movimentos

Segundo Azevedo (1998), um movimento que não varia de ponto para ponto é chamado de permanente, sendo assim não possui ligação com o tempo; a força, velocidade e pressão são constantes. Quando há variação do movimento no tempo, ponto a ponto e instante a instante, alterando o valor das características, ele é não permanente.

Afirma Azevedo (1998) que, se a velocidade da corrente do movimento não varia, o movimento é uniforme. Caso haja variação de velocidade ele é acelerado.

De acordo com o mesmo autor, ao considerar o trecho de um tubo imaginário de tubos de corrente com seções A_1 e A_2 e com velocidade V_1 e V_2 em um movimento permanente, a quantidade de líquido que entra na seção A_1 de um determinado canal é igual ao valor que sai na seção A_2 .

Quando se analisa um trecho de comprimento " C " e largura " L " de um córrego, ele pode ser considerado como um movimento permanente, desde que não haja encontro neste percurso com outro córrego e não haja curvatura brusca com redução no tamanho de L .

Se a largura L_1 for igual a L_2 , conseqüentemente a velocidade V_1 e V_2 serão iguais. Segundo Azevedo (1998), a vazão é o produto entre a velocidade e

área, o valor da vazão de entrada do trecho Q_1 será igual a o valor de vazão na saída do trecho Q_2 .

Braga (1999) traz outra forma de calcular a vazão utilizando o método do flutuador. A velocidade superficial com que um flutuador se desloca no rio é diferente da velocidade média. Para obter-se o valor da velocidade média é necessário utilizar um fator de correção para a velocidade superficial. O valor da vazão é obtido utilizando a Equação 1.

$$Q = 0,8 \frac{L}{t} A. \quad (1)$$

Q : Vazão.

L : Comprimento de trecho entre os pontos.

A : Média das áreas das seções transversais determinadas pelas cordas nos pontos escolhidos.

t : Tempo gasto no percurso em segundos.

0.8: Correção de velocidade superficial.

$\frac{L}{t}$: Velocidade superficial que o flutuador se desloca.

2.1.4 Propriedades dos fluídos

Afirma Çengel (2007) que a propriedade de um sistema são as suas características. As propriedades mais utilizadas são: massa (m), pressão (P), temperatura (T) e volume (V).

Utilizando as propriedades massa e volume, é possível determinar a densidade de uma substância. A densidade, que é uma propriedade específica de cada material, pode ser obtida pela razão da massa por unidade de volume, a expressão matemática para a densidade pode ser observada na equação 2.

$$\rho = \frac{M}{V} (kg/m^3)$$

ρ : Densidade.

M : Massa do material.

V : Volume do material.

Já o nome utilizado do peso da unidade de volume de uma substância é “peso específico”, o seu valor é obtido pela multiplicação da densidade da

substância pela aceleração da gravidade; a expressão matemática para a peso específico, pode ser observada na equação 3.

$$\gamma_s = \rho \cdot g \text{ (N / m}^3\text{)} \quad (3)$$

γ_s : Peso específico da substância.

ρ : Densidade da substância.

g : Aceleração da gravidade.

2.1.5 Teorema de Bernoulli para líquidos

Na Figura 1 pode ser observado um tubo de corrente pelo qual escoa determinado fluido com massa específica ρ . Na área A_1 para A_2 , atua corrente com pressão P_1 e velocidade V_1 . Da mesma maneira, da área A_3 para A_4 , atua corrente com pressão P_2 e velocidade V_2 .

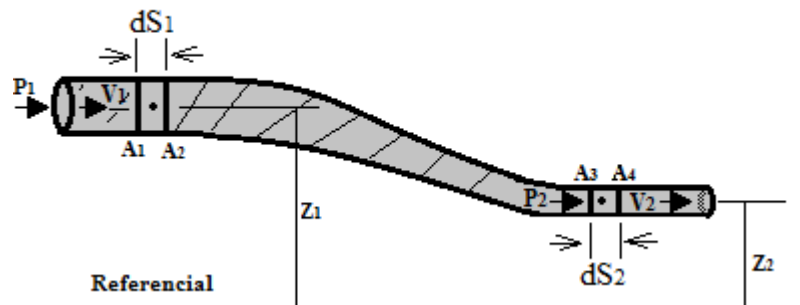


Figura 1. Tubo de Corrente.
Fonte: Autoria Própria

As partículas inicialmente em A_1 movem-se para A_2 ; neste mesmo intervalo de tempo as partículas que estão em A_3 movem-se para A_4 .

O teorema das forças vivas, apresentado por Azevedo (1998), afirma que “a variação da força viva de um sistema se iguala ao trabalho total de todas as forças do sistema”.

Desta maneira, a energia cinética do sistema é representada pela Equação 4:

$$E_c = \frac{1}{2} M V_E^2 = \frac{1}{2} M_2 V_{E2}^2 - \frac{1}{2} M_1 V_{E1}^2 \quad (4)$$

E_c : Energia Cinética.

M : Massa do material.

V_E : Velocidade de deslocamento do material.

A soma dos trabalhos das forças externas (gravidade e empuxo) está expressa na Equação 5.

$$\tau = p_1 A_1 dS_1 - p_2 A_2 dS_2 + \rho_1 A_1 dS_1 Z_1 - \rho_2 A_2 dS_2 Z_2 \quad (5)$$

τ : Trabalho das forças externas.

p : Pressão no ponto de estudo.

A : Área que substância ocupa.

ρ : Densidade da substância.

dS : Elemento infinitesimal de área sobre a superfície.

Z : Altura do ponto de estudo em relação a referência.

Sendo o líquido incompressível, para o escoamento em regime estacionário ou variável, a relação entre o volume ocupado pelo líquido e a sua massa, que é densidade do líquido, e o seu valor é constante, como mostra a Equação 6:

$$\rho A_1 dS_1 = \rho A_2 dS_2 \quad (6)$$

ρ : Densidade da substância.

A : Área que a substância ocupa.

dS : Elemento infinitesimal de área sobre a superfície.

Partindo das Equações (4), (5) e (6) é possível chegar à equação 7.

$$\frac{V_{E1}^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{V_{E2}^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 = const \quad (7)$$

O teorema de Bernoulli não é senão o princípio de conservação de energia, em que cada um dos termos da equação representa uma forma de energia.

$$\frac{V_E^2}{2g} = \frac{m^2/s^2}{m/s^2} = m \quad \begin{array}{l} \text{Energia cinética (força viva para peso unitário)} \\ \text{(Carga de velocidade ou dinâmica)} \end{array}$$

$$\frac{p}{\gamma} = \frac{kgf/m^2}{kgf/m^3} = m \quad \begin{array}{l} \text{Energia de pressão ou piezométrica} \\ \text{(Carga de pressão)} \end{array}$$

$$z = m \quad \begin{array}{l} \text{Energia de posição ou potencial} \\ \text{(Carga geométrica ou de posição)} \end{array}$$

Existem máquinas hidráulicas que aproveitam essas diferentes formas de energia, em conjunto ou separadamente. As rodas da água com admissão superior acima aproveitam a energia de posição (carga geométrica). Já nas rodas Pelton, utiliza-se a energia cinética mediante a ação de jatos que incidem sobre pás.

2.2 HIDRODINÂMICA

2.2.1 Conversão de energia

Segundo EMERSON RECURSOS, a transformação hidrelétrica é o resultado de um processo que se utiliza do movimento e queda d'água dos rios para a finalidade de geração de energia elétrica.

O processo de conversão hidroelétrica acontece da seguinte maneira: a energia elétrica obtida das hidrelétricas é resultado da energia potencial encontrada no armazenamento de água em um reservatório, conforme a água é liberada pela comporta, ela entra em um duto forçado onde a energia potencial vai sendo convertida em energia cinética, em seguida, a água passa pela turbina, acoplada a um gerador síncrono de polos salientes; o eixo da turbina fica diretamente ligado ao eixo do rotor do gerador, este acoplamento forma o conjunto do turbogerador, que é responsável pela geração de energia elétrica. O esquema a seguir mostra os passos de conversão de energia.

Energia Potencial	→	<i>Comportas</i>	Energia Cinética	→	<i>Turbina</i>	Energia Mecânica	→	<i>Gerador</i>	Energia Elétrica
-------------------	---	------------------	------------------	---	----------------	------------------	---	----------------	------------------

Comparando com turbinas a vapor, o conjunto turbina-gerador gira a baixas velocidades, entre 50 a 300 rpm enquanto que as turbinas a vapor atingem velocidade de 10000 rpm.

A. E. FITZGERALD (2008) afirma que, a tensão da bobina de uma máquina de múltiplos polos deve passar por um ciclo completo para cada par de polos que passe pela bobina da máquina, ou seja, polos/2 vezes a cada revolução. A frequência da tensão gerada por uma máquina síncrona depende da rotação de giro da máquina primária (velocidade) e do número de polos, a frequência da tensão gerada é, portanto, demonstrada na equação 8:

$$f_e = \left(\frac{\text{pólos}}{2} \right) \left(\frac{n}{60} \right) \text{Hz} \quad (8)$$

f_e : Frequência (Hz), da tensão gerada.

pólos : Número de polos da Máquina.

n : Rotação da máquina (rpm).

Segundo Simone (2012), a potência mecânico-hidráulica de um aproveitamento pode ser obtida através da análise matemática expressa pelas equações 9 e 10.

Em watts:
$$P_H = Q \cdot H \cdot \gamma \cdot \eta \quad (9)$$

Em cavalos-vapor:
$$P_H = Q \cdot H \cdot \frac{1000}{75} \cdot \eta \quad (10)$$

O fator η representa a eficiência da turbina, ou seja, uma fração de energia total da fonte de energia primária (água) convertida em energia útil (Potência de eixo). As causas que mais influenciam em “perda” de energia nas turbinas são:

Perdas Hidráulicas: A energia cinética gasta para deixar a turbina com velocidade mínima para a geração de energia.

Perdas Mecânicas: Energia gasta no aquecimento dos mancais e atrito na mobilidade de algumas partes da turbina.

Na sua grande maioria, as turbinas modernas possuem eficiência energética com valores entre 85% e 99%, podendo variar segundo a potência gerada e vazão da água utilizada.

2.3 MÉDIA ARITMÉTICA

2.3.1 Média aritmética simples

Segundo o GRUPO VIRTUOSOS, a média aritmética simples é utilizada para elementos que possuem o mesmo peso relativo. A média de um conjunto de valores numéricos é obtida pela soma de todos os valores, dividida pelo número de elementos somados, que é igual ao número de elementos do conjunto; ou seja, a média de “**W**” números é a sua soma dividida por “**W**”.

2.3.2 Média aritmética ponderada

O GRUPO VIRTUOSOS afirma que, ponderar é sinônimo de pesar. Para casos em que as ocorrências têm importância relativa diferente, o cálculo da média deve levar em conta esta importância relativa ou o peso relativo.

Para o cálculo de média ponderada, deve-se multiplicar cada valor do conjunto por seu “peso”, isto é, sua importância relativa. A média aritmética ponderada \bar{x}_p de um conjunto de números t_1, t_2, \dots, t_n cuja importância relativa (“peso”) é respectivamente ir_1, ir_2, \dots, ir_n é obtida da seguinte maneira:

$$\frac{\sum_{i=1}^n (ir_i t_i)}{\sum_{i=1}^n ir_i} = \frac{ir_1 t_1 + ir_2 t_2 + \dots + ir_n t_n}{ir_1 + ir_2 + \dots + ir_n} \quad (11)$$

2.4 CÁLCULO DE ÁREA

2.4.1 A integral definida

Segundo a definição 6.5.1 do livro Howard Anton, afirma-se que uma função f é integrável em um intervalo fechado finito $[a, b]$ se o limite

$$\lim_{\max \Delta x_k \rightarrow 0} \sum_{k=1}^n f(x_k^*) \Delta x_k \quad (12)$$

existir e não depender da escolha das partições ou da escolha dos pontos x_k^* nos subintervalos. Neste caso, denotamos o limite pelo símbolo

$$\int_a^b f(x) dx = \lim_{\max \Delta x_k \rightarrow 0} \sum_{k=1}^n f(x_k^*) \Delta x_k \quad (13)$$

que é denominada integral definida de f de a até b . Os números a e b são denominados limites de integração inferior e limite de integração superior, respectivamente, e $f(x)$ é denominado integrando.

No teorema 6.5.2 apresentado por Howard Anton, se uma função f é contínua em um intervalo $[a, b]$, então f é integrável $[a, b]$ e a área líquida com sinal A entre o gráfico de f e o intervalo $[a, b]$ é

$$A = \int_a^b f(x) dx. \quad (14)$$

2.4.1.1 Área do retângulo

Se existe uma função contínua $f: [a, b] \rightarrow \mathbb{R}$ tal que $f \geq 0$ em $[a, b]$, e pretende-se calcular a área da região C delimitada pelo gráfico de f e pelo eixo dos xx ,

$$C = \{ (x, y) \in \mathbb{R}^2 : a \leq x \leq b, \quad 0 \leq y \leq f(x) \}, \quad (15)$$

que se encontra hachurada na figura 2.

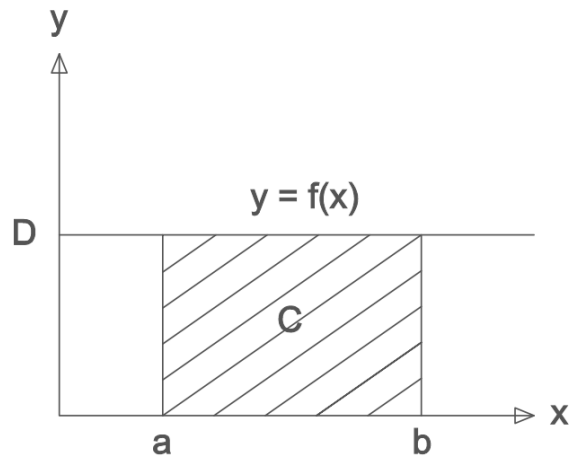


Figura 2. Gráfico de $f(x)$ do retângulo.
Fonte: Autoria Própria

Afirma Isa.com, que se designa esta área por integral de f em $[a, b]$, denota-se por

$$\int_a^b f(x)dx. \quad (16)$$

A função f designa-se por função integrada.

De acordo com Isa.com, caso f seja uma função constante de valor D , o valor da área é $D[b - a]$.

$$\int_a^b Ddx = D(b - a). \quad (17)$$

2.4.1.2 Área da circunferência

O desenho no Plano Cartesiano de uma figura que possui o formato de um círculo de raio “ r ”, de centro na origem, como observa-se na figura 3. Ele obedece a seguinte equação matemática:

$$r^2 = x^2 + y^2 \quad (18)$$

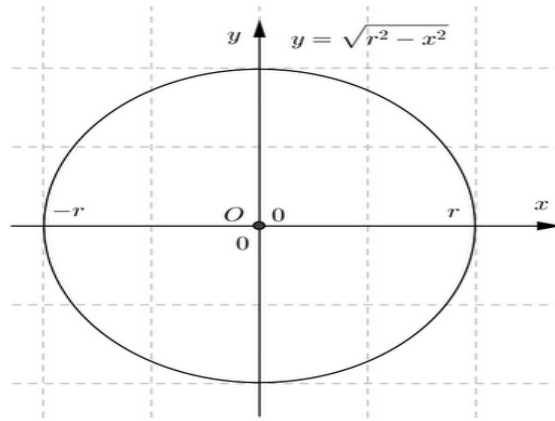


Figura 3. Gráfico de $f(x)$ do círculo.
Fonte: (TEIXEIRA, Aloisio S; 2012)

Para calcular a área (A) da circunferência da figura 3, deve-se dividir a figura em quatro quadrantes, conforme a figura 4

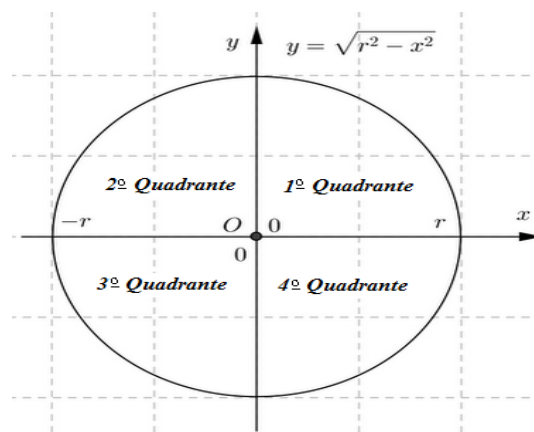


Figura 4. Divisão do Círculo em Quadrantes.
Fonte: (TEIXEIRA, Aloisio S; 2012).

Utilizando o teorema para cálculo de área, apresentado por Howard Anton, é possível calcular a área do círculo. Rearranjando a equação 18, temos a equação 19.

$$y = \pm\sqrt{r^2 - x^2} \quad (19)$$

Com base na equação 19 aplica-se teorema de cálculo de área na parte positiva, no primeiro quadrante da figura 4, no intervalo $[0, r]$; a área do círculo pode ser obtida utilizando a equação 17.

$$A_{\text{circulo}} = 4 * \int_0^r \sqrt{r^2 - x^2} dx \rightarrow A_{\text{circulo}} = 4 * \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{r^2 - r^2 * \text{sen}^2 \theta} * r \cos \theta d\theta \rightarrow A_{\text{circulo}} = \pi * R^2 \quad (20)$$

2.5 GRUPO GERADOR

2.5.1 Componentes

O Grupo Gerador (GG) é a parte de maior importância da CH, pois é responsável pela transformação e qualidade da energia e pela estabilidade e segurança operacional dos sistemas que conduzem e suportam as massas energéticas, sem mencionar que são o ponto de partida da casa de máquinas e de todos os pertences utilizados na montagem, na manutenção e na operação (SOUZA, 2009).

As figuras 5 e 6 trazem os tipos de GG com eixo horizontal, acoplamento direto e com amplificador de rotação; trazem também seus componentes, entre eles o quadro de comando e de proteção, indicando simbologia e denominação das potências e das rotações, sendo

P - potência hidráulica disponível.

P_e - potência no eixo da TH.

P_{el} - potência elétrica nos bornes de saída do GG. n_T e n_G – rotações da TH e do GE. (SOUZA, 2009).

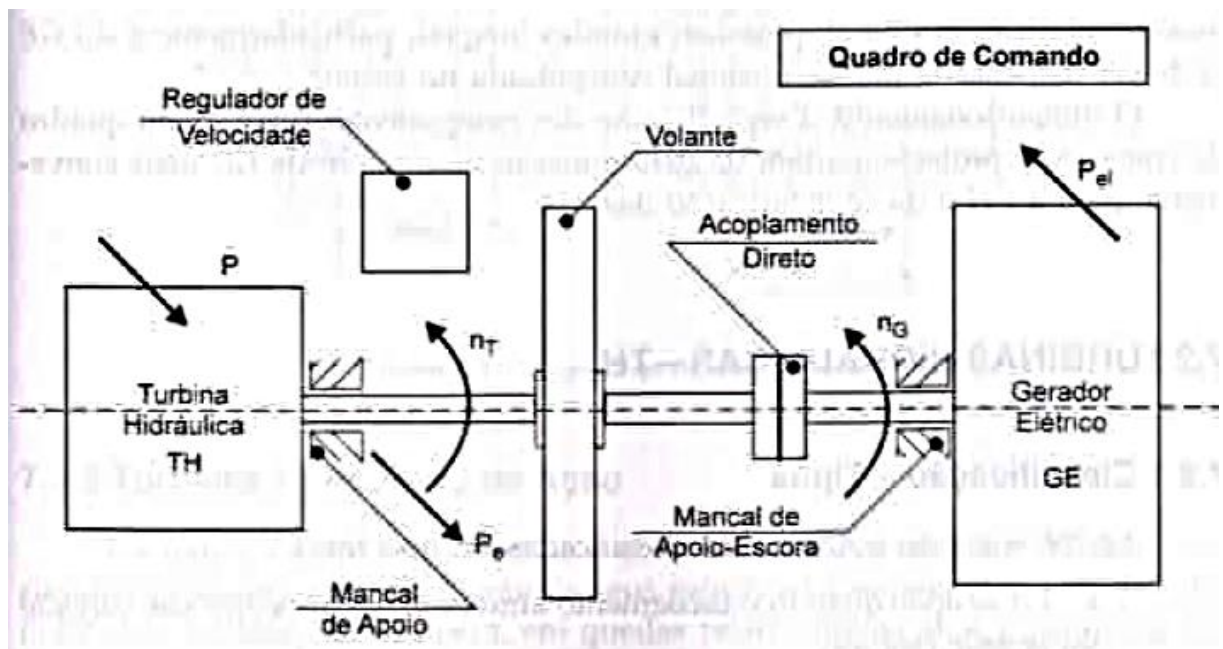


Figura 5. Componentes de GG de eixo horizontal e acoplamento direto.
Fonte: (Souza, 2009)

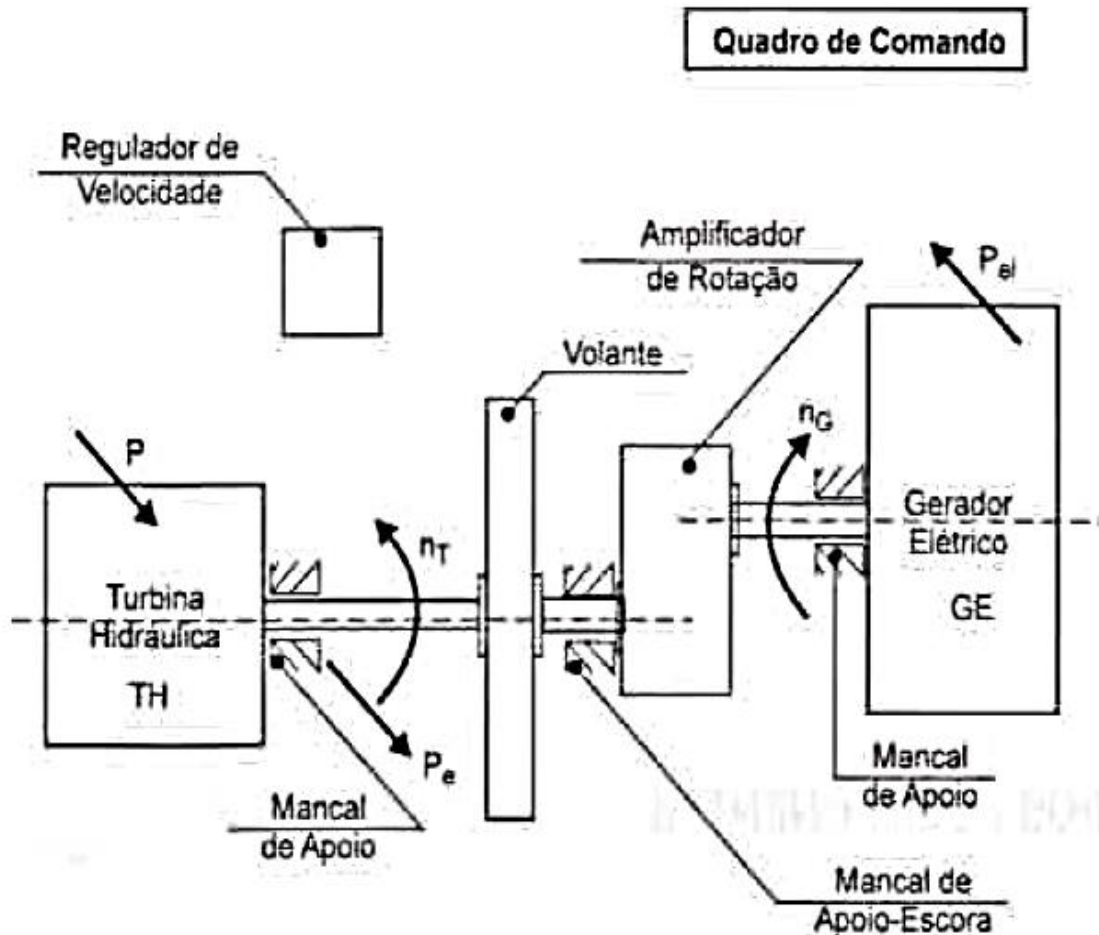


Figura 6. Componentes de GG de eixos horizontal de amplificação de rotação.
Fonte: (SOUZA, 2009)

As disposições da Turbina Hidráulica (TH) e do Gerador Elétrico (GE) com eixos horizontais são as mais usadas em PCH. Nas Grandes Centrais Hidrelétricas GCH, na maioria das vezes, o eixo vertical é acoplado diretamente, o que implica na necessidade de mancais de guias e de escora. Também nas GCH, como as massas rotativas, em geral, possuem grandes inércias, particularmente a do GE, pode ser dispensada massa adicional concentrada no volante (SOUZA, 2009).

O dimensionamento, a especificação dos componentes dos GG, do quadro de comando e proteção, partem da determinação do número de GG mais conveniente para a CH e da caracterização das TH (SOUZA, 2009).

2.5.1.1 Grupo gerador S

A Figura 7 mostra uma instalação com GGS em corte longitudinal, com gerador a jusante e denominação de seus principais componentes. Esta topologia de geração tem sido aplicada para unidades com potência de até 10 MW (SOUZA, 2009).

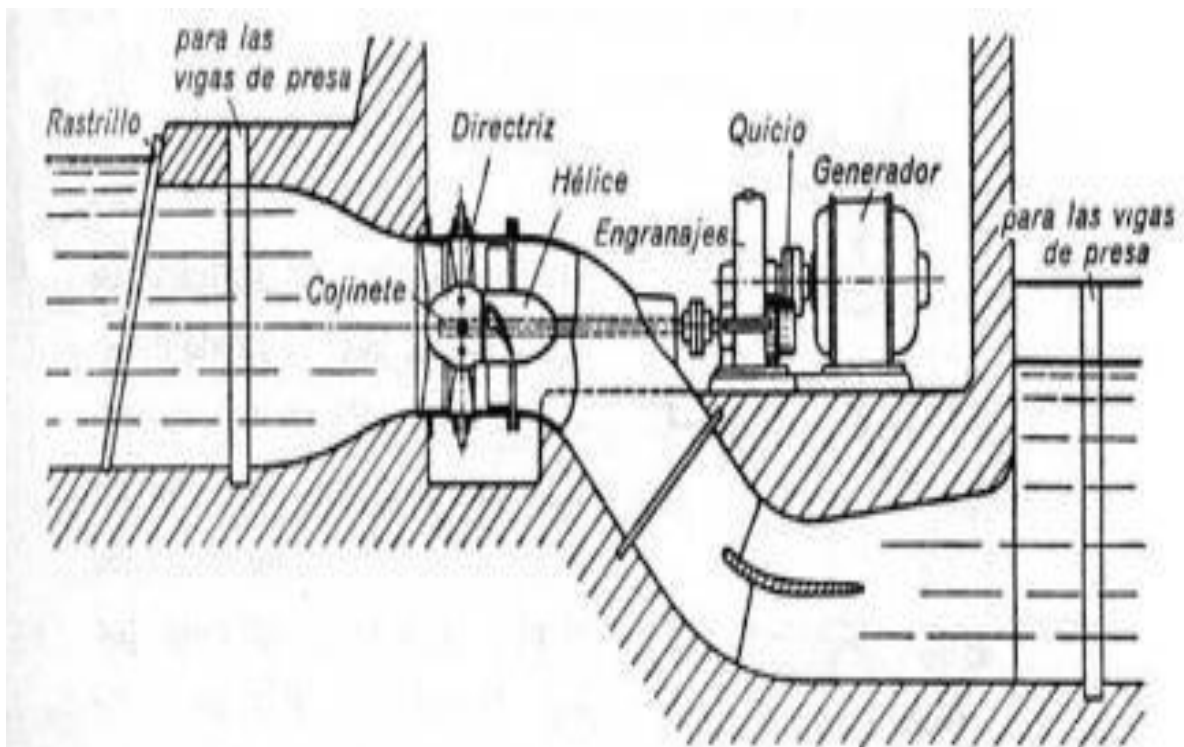


Figura 7. Corte longitudinal da instalação de GS com gerador a jusante e denominação de componentes.

Fonte: (Albuquerque, 2015)

Também fornecido por Souza (2009), a figura 8 mostra os esquemas possíveis para a instalação do GGS com eixos vertical e horizontal, nestes casos, sempre com GE a montante.

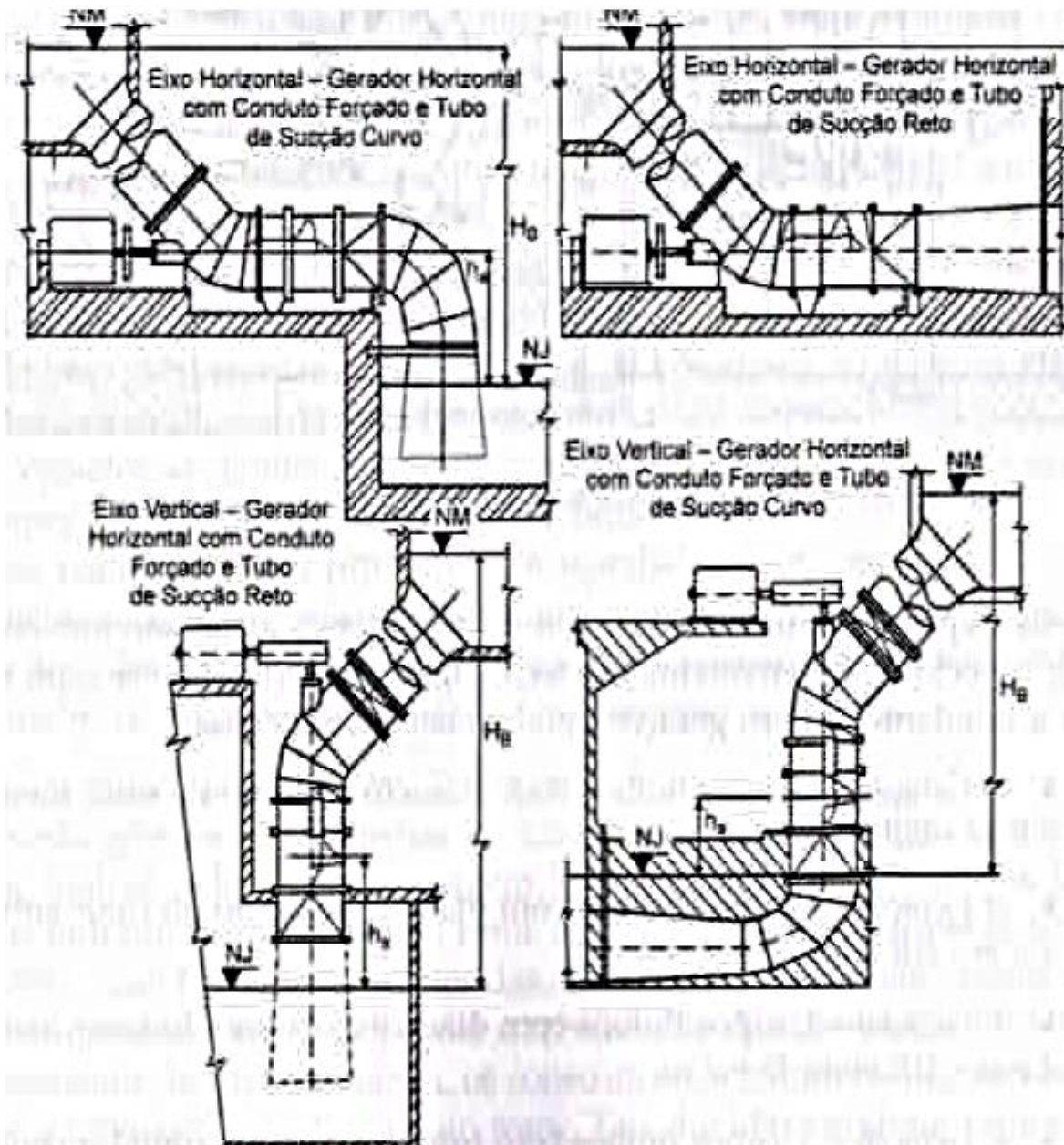


Figura 8. Instalação do GGS com eixos vertical e horizontal.
 Fonte: (Souza, 2009)

2.5.1.2 Grupo gerador bulbo

O bulbo do grupo gerador pode estar a montante do rotor caso geral ou a sua jusante, o GGB é muito utilizado na geração maré motriz (SOUZA, 2009).

Em Souza (2009), é encontrado o esquema de um corte longitudinal em um GGB, como pode ser observado na figura 9. Este GGB de eixo horizontal, com

acesso ao interior do bulbo a montante, pode-se observar o gerador elétrico o qual tem seu eixo acoplado diretamente ao eixo onde está fixado o rotor axial da turbina hidráulica.

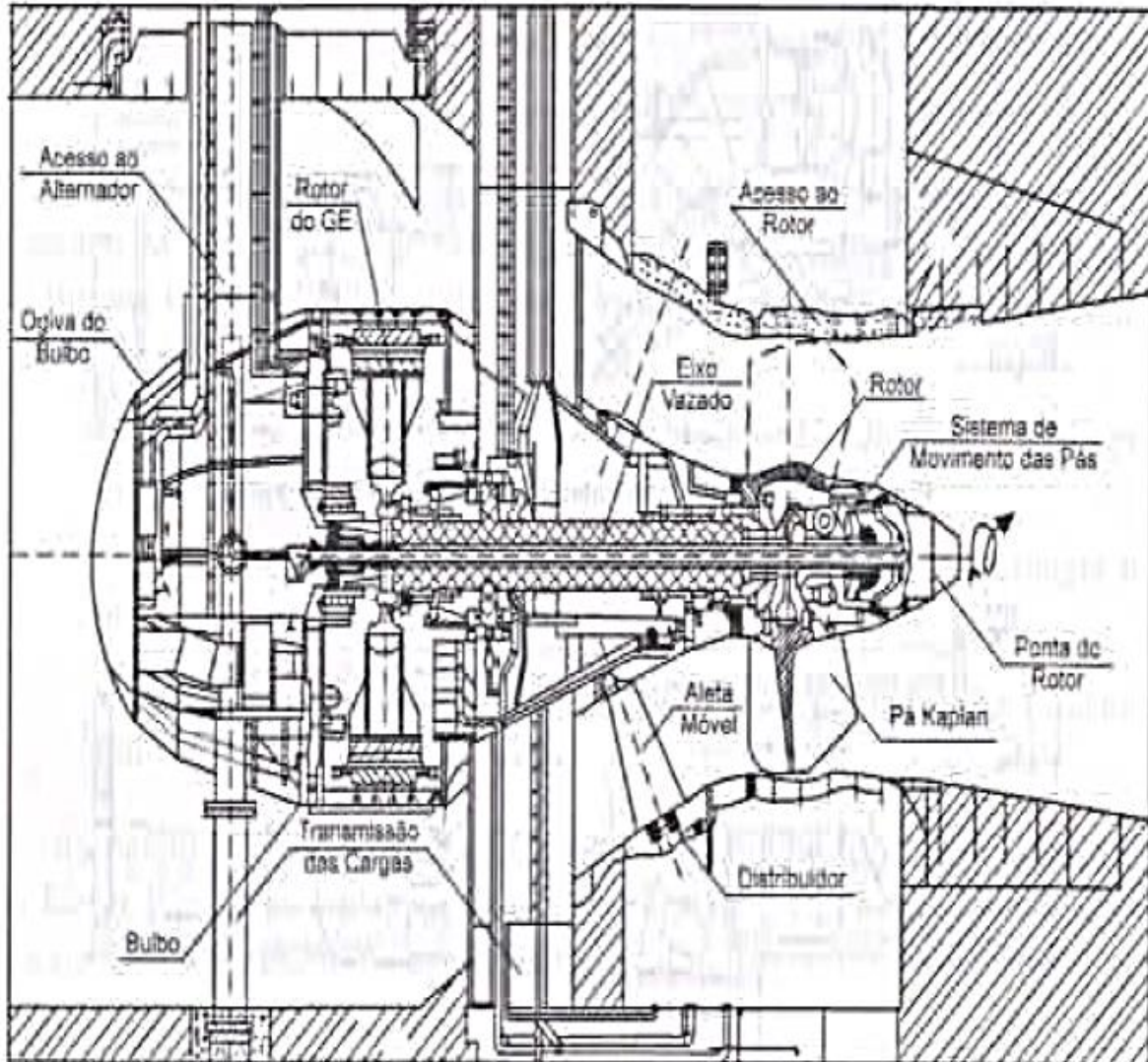


Figura 9. GB com denominação de seus principais componentes.
Fonte: (Souza, 2009)

2.5.1.3 Geradores elétricos (características)

Segundo Souza (2009), os geradores elétricos utilizados nas CGH, são síncronos ou assíncronos. Os geradores síncronos são os modelos mais utilizados; estas máquinas trabalham sem variação de velocidade e velocidade síncrona e produzem energia ativa, bem como reativa.

Também afirma Souza (2009), que o modelo de gerador elétrico assíncrono, ou de indução, possui em suas características trabalhar com rotações levemente diferentes da rotação síncrona. Esta característica é uma condição básica para que exista conversão de energia útil.

Segundo o mesmo autor, a potência elétrica continuamente disponível nos bornes do gerador elétrico é a sua potência nominal. Também se deve levar em conta que a potência nominal não eleve a temperatura limite definida pela sua classe de isolamento.

Souza (2009) explica ainda que, além da temperatura deve-se levar em conta a capacidade da máquina primária que restringe a potência ativa disponível.

2.6 TURBINAS HIDRÁULICAS – TH

Segundo a ABNT, as turbinas elétricas são classificadas em dois tipos:

- TH de ação, quando o escoamento através do rotor ocorre sem variação da pressão estática (SOUZA, 2009).
- TH de reação, quando o escoamento através do rotor ocorre com variação da pressão estática (SOUZA, 2009).

2.6.1 Turbinas Hidráulicas Tubulares

2.6.1.1 Conceito – tipos

Souza (2009) afirma que, para Centrais Hidrelétricas de Baixa Queda (CHBQ), são usadas Turbinas Hidrelétricas Tubulares (THT), sendo assim chamadas devido à direção de escoamento, desde a entrada do estator até a saída do rotor, ser axial, sendo esta TH uma turbina de ação.

A figura 10 mostra uma THT de forma mais simples com a denominação de seus principais componentes.

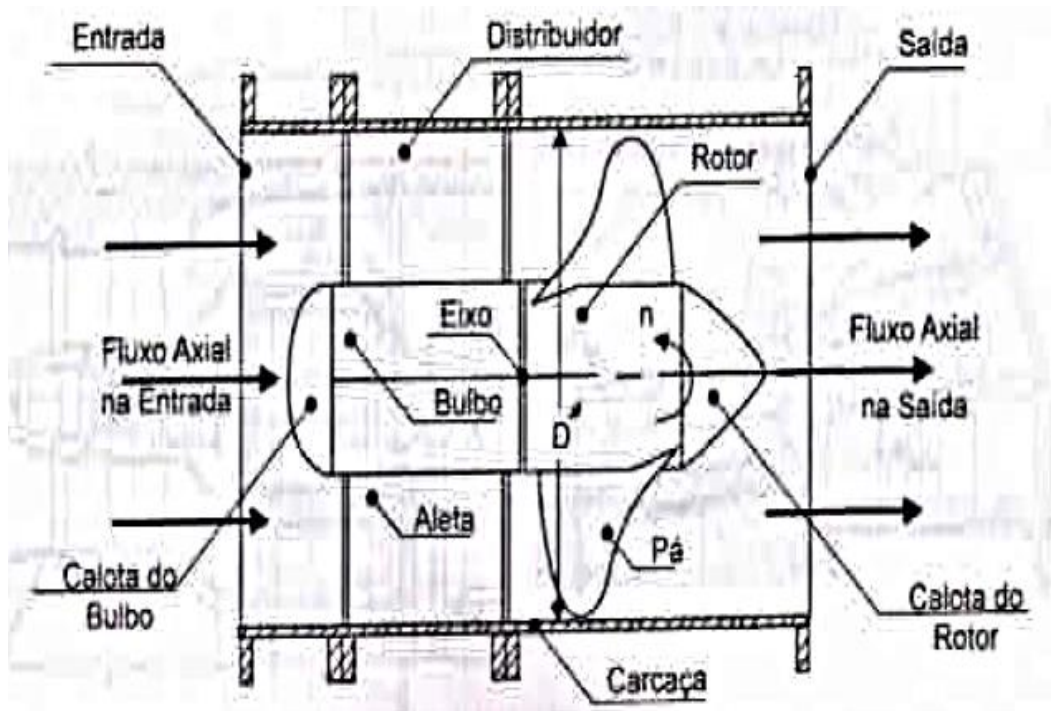


Figura 10. THT com designação de seus principais componentes.
Fonte: (Souza, 2009)

Segundo SOUZA (2009), as THT são denominadas conforme o posicionamento do gerador elétrico.

Grupogerador hidráulico tubular S ou simplesmente, Grupo Gerador S (GGS).

Grupo gerador hidráulico tubular bulbo ou simplesmente, Grupo Gerador Bulbo (GGB).

Grupo gerador tubular hidráulico poço ou simplesmente, Grupo Gerador Poço (GGP).

Grupo gerador hidráulico tubular periférico ou, Grupo Gerador Straflo (GGS).

3. METODOLOGIA

3.1 ANÁLISE DE CASO

O trabalho foi desenvolvido com base na oportunidade de construção de uma CGH na propriedade rural do Sr. Ary Prebianca Polese, situada na localidade de Jacutinga, município de Coronel Vivida – PR.

Na Figura 11, o local que está circulado em vermelho é o ponto de estudo para a construção de uma CGH.



Figura 11. Ponto de estudo para a construção de uma CGH.
Fonte: (Sigma Topografia e Engenharia Florestal).

3.2 INFORMAÇÕES DO LOCAL DE ESTUDO

As figuras 12, 13 e 14 mostram o levantamento topográfico com as isoípsas do rio Jacutinga no local. As imagens com os dados do levantamento topográfico foram fornecidas pela empresa SIGMA.

A reta de cor preta que está sobre a queda da água, a qual pode ser observada nas figuras 12, 13 e 14, é a referência para a construção de uma

barragem. Já a isoípsa na cor preta a jusante mostra a altura do rio em relação ao nível do mar naquele determinado ponto.

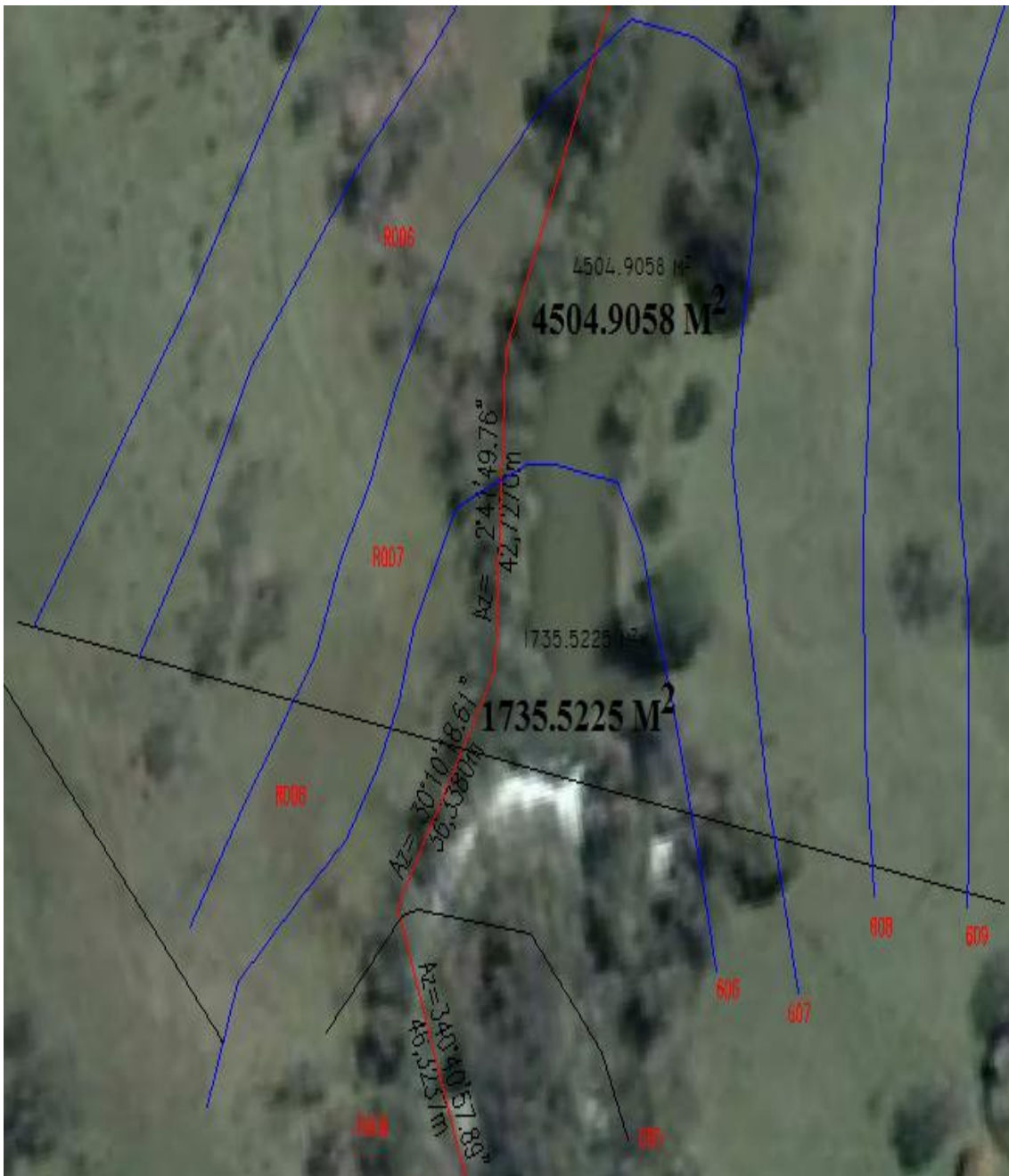


Figura 12. Isoípsa das margens do rio Jacutinga.
Fonte: (Sigma Topografia e Engenharia Florestal).

Observando a figura 12, a montante da cachoeira, existe isolinhas na cor azul quemostrom a altitude do local em relação ao nível do mar. O valor numérico interno a cada curva representa a área inundada, caso fosse construída uma barragem no local. A primeira curva a 606 m mostra a área inundada, se acaso fosse construída uma barragem com altura de um metro; a curva 607 m mostra para dois metros de altura.

A figura 13 mostra o local com uma visão mais afastada, abrangendo assim, uma área maior. Nela, pode ser vista a área inundada, se acaso fosse construída uma barragem com altura de três ou quatro metros.

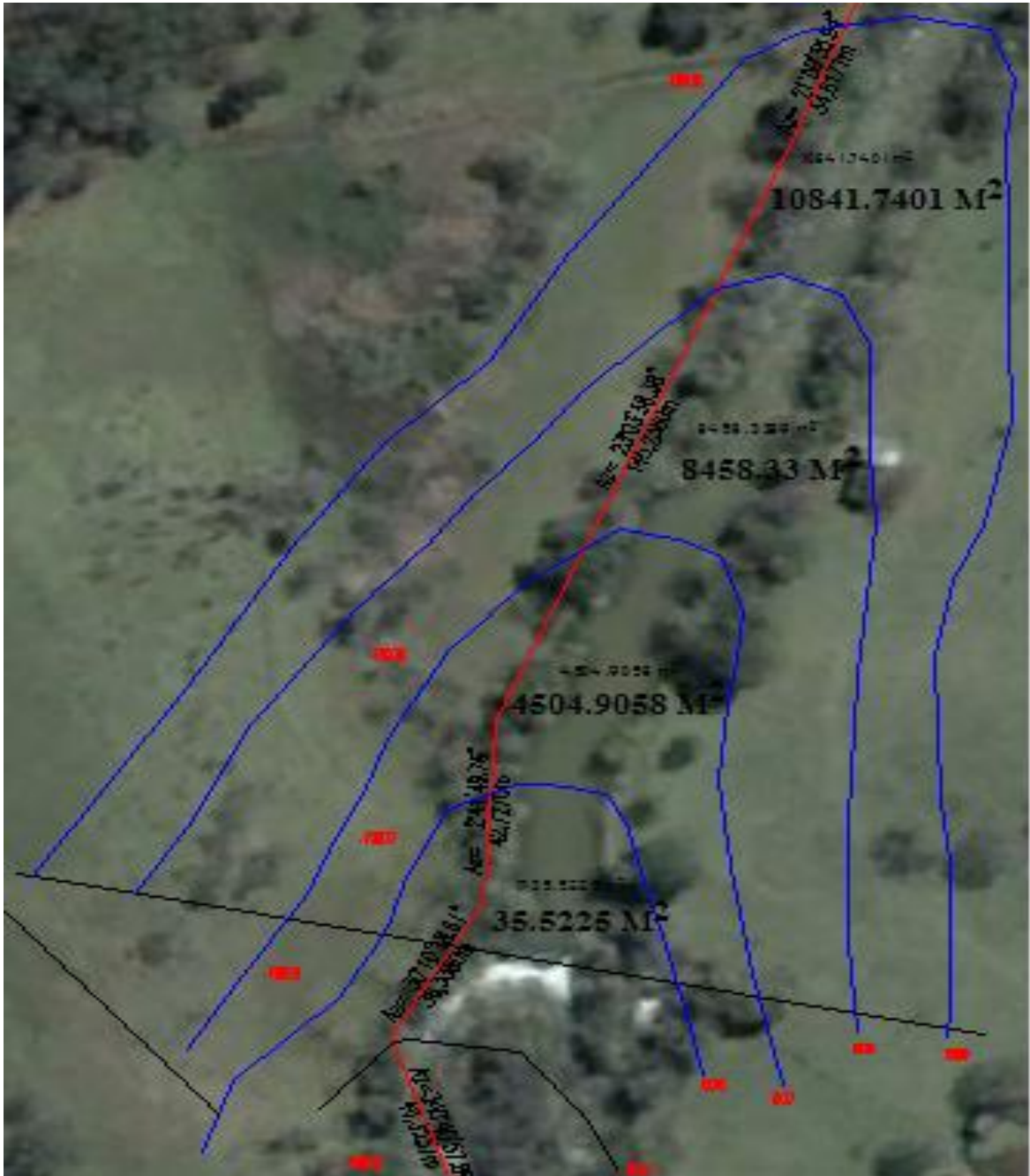


Figura 5. Visão mais afastada das isolinhas das margens do rio Jacutinga.
Fonte: SIGMA TOPOGRAFIA E ENGENHARIA FLORESTAL.

Afigura 14 prioriza a queda de água para que se possa fazer uma adequada avaliação da melhor maneira de aproveitamento do potencial energético existente no local.

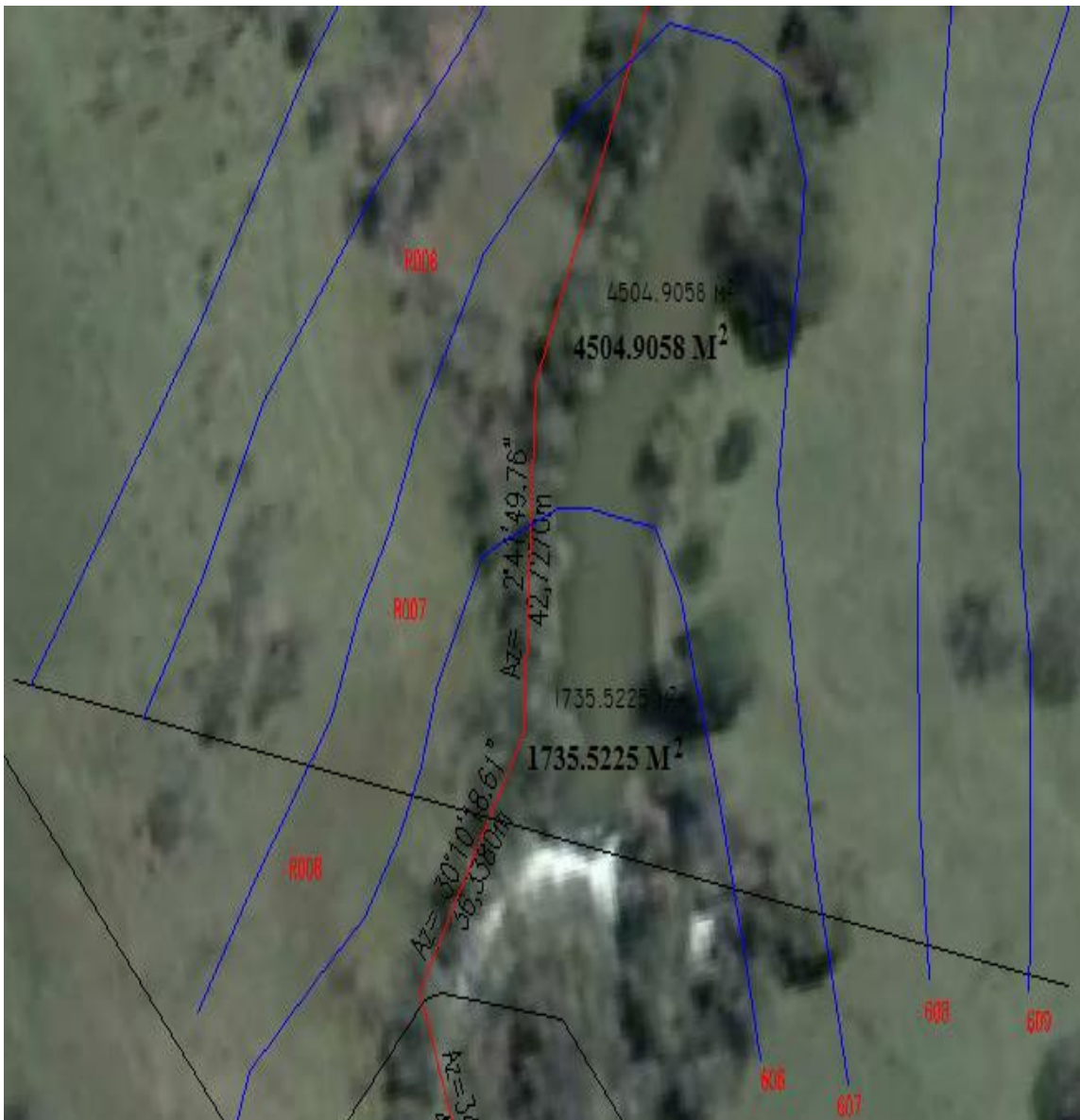


Figura 14. Visão focada nas isolinhas próximas da cachoeira.
FONTE: (Sigma Topografia e Engenharia Florestal).

Foram obtidos os dados da altura da lâmina d'água da cachoeira e a profundidade do rio em vários pontos diferentes, esses dados obtidos servem para solidificar o trabalho e entender um pouco mais sobre o comportamento do rio. Os dados aparecem na tabela 1, sendo que para um melhor entendimento do

armazenamento de água no local, a caixa do rio está representada na figura 15; estes dados são de grande importância para determinar o local de construção da CGH.

A figura 15 traz informações das dimensões da caixa do rio Jacutinga e os pontos que foram coletados os dados da profundidade do rio.

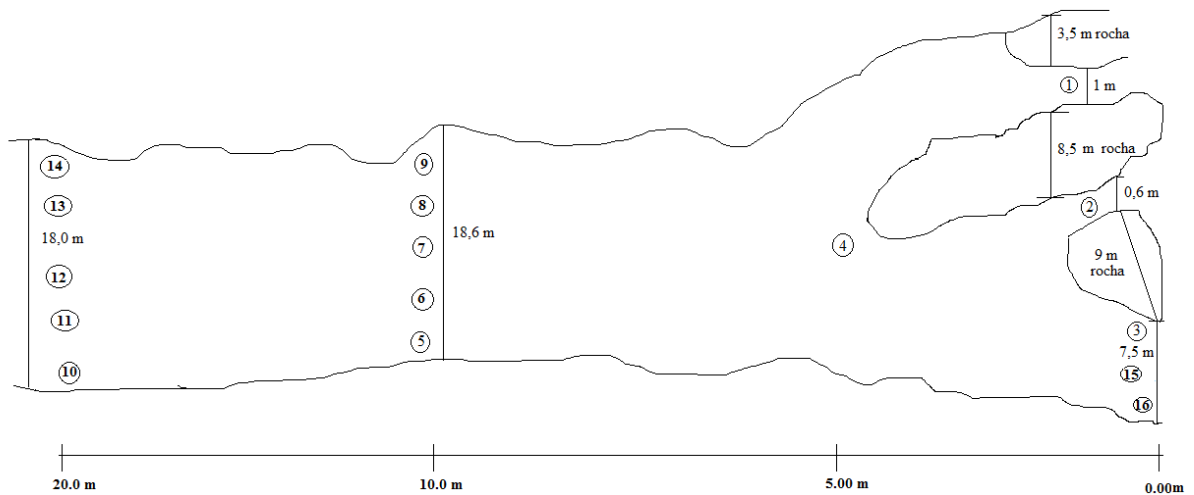


Figura 15. Representação das margens do Rio Jacutinga e os pontos de coletas dos dados de profundidade.

Fonte: Autoria Própria

Para medir a profundidade e a altura da lâmina d'água do rio Jacutinga foi utilizado o equipamento *DEPTHMATE PORTABLE SOUNDER*. A figura 16 mostra o medidor de profundidade.



Figura 66. *Depthmate portable sounder --- MODEL SM-5.*

Fonte: Okokchina.com

O quadro 1 mostra os dados técnicos do *Depthmate Portable Sounder*, modelo SM-5.

DEPTHMATE PORTABLE SOUNDER -- Model SM-5	
Energização	Bateria de 9-V, faz 500 leitura de 10 segundos.
Frequência	400kz (Ângulo de feixe 6°)
À prova D'Água	Para 160 pés ou 50 metros
Alcance	Entre 2 e 260 pés ou entre 0.6 e 79 metros
Medidas	1.7" X 7.8" / 42 X 198 mm
Peso	10oz / 300 gramas (com a Bateria)

Quadro 1. Dados técnicos do *Depthmate Portable Sounder*- Model SM-5.
 FONTE: OKOKCHINA.COM

Com o auxílio do *Depthmate Portable Sounder*, mediu-se a profundidade do Rio Jacutinga em vários pontos e datas diferentes para entender um pouco mais sobre o comportamento do rio. Os dados coletados aparecem na tabela 1.

Tabela com informações mensais do nível da água do rio Jacutinga.

Dados Coletados em 10 de maio de 2014.			
Profundidade do rio		Lâmina de água	
Ponto	Profundidade (m)	Ponto	Altura (m)
4	1,20	1	0,10
5	1,50		
6	1,60		
7	1,40	2	0,20
8	0,80		
9	0,70	3	0,30
10	1,80		
11	2,20		
12	1,80	15	0,40
13	1,60		
14	1,40	16	0,50

Dados Coletados em 09 de junho de 2014.			
Profundidade do rio		Lâmina de água	
Ponto	Profundidade (m)	Ponto	Altura (m)
4	2,70	1	1,60
5	3,00		
6	3,10		
7	2,90	2	1,70
8	2,30		
9	2,20	3	1,80
10	3,30		
11	3,70		
12	3,30	15	1,90
13	3,10		
14	2,90	16	1,50

Dados coletados em 15 de julho e 07 de agosto de 2014			
Profundidade do rio		Lâmina de água	
Ponto	Profundidade (m)	Ponto	Profundidade (m)
4	1,70	1	0,70
5	2,00		
6	2,10		
7	1,90	2	0,80
8	1,30		
9	1,20	3	0,90
10	2,20		
11	2,80	15	1,00
Profundidade do rio		Lâmina de água	
Ponto	Profundidade (m)	Ponto	Profundidade (m)
12	2,30	16	0,60
13	2,10		
14	1,90		
Dados coletados em 08 de setembro de 2014			
Profundidade do rio		Lâmina de água	
Ponto	Profundidade (m)	Ponto	Profundidade (m)
4	0,90	1	0,00
5	1,20		
6	1,30		
7	1,10	2	0,00
8	0,50		
9	0,40	3	0,30
10	1,50		
11	1,90	15	0,40
12	1,50		
13	1,30	16	0,50
14	1,10		
Dados coletados em 05 de outubro de 2014			
Profundidade do rio		Lamina de água	
Ponto	Profundidade (m)	Ponto	Profundidade (m)
4	1,62	1	1,50
5	1,92		
6	2,02		
7	1,82	2	1,60
8	1,22		
9	1,12	3	1,70
10	2,22		
11	2,62	15	1,80
12	2,22		
13	2,02	16	1,90
14	1,82		

Tabela 1. Dados do comportamento do nível da água do rio Jacutinga por um período de um semestre em 2014.

Fonte: Autoria própria, 2014.

Os dados da tabela 1, juntamente com os dados da figura 8, são de grande importância para saber o volume de água neste determinado trecho do rio.

Foram também coletados os dados de tempo que um material flutuador (rolha), gasta para percorrer o trecho, entre o valor de 15 metros e o valor de 5 metros da figura 8 do rio Jacutinga. As informações obtidas podem ser analisadas na tabela 2.

Tabela com informação do tempo de percurso do flutuado.

Data	Tempo (s)				
31/10/2014	60	60	58	59	58

Tabela 2. Dados do tempo gasto para o flutuador percorrer o percurso do ponto 15 metros até o ponto 5 metros ($\Delta x = 10$ metros).

Fonte: Autoria própria, 2014

Com os dados obtidos no ponto 5 de monitoramento (ver figura 8), foi elaborado o gráfico da figura 9 que informa o comportamento do nível da água do rio Jacutinga no período de 09 de maio até 05 de outubro de 2014.

O gráfico a seguir mostra o comportamento do nível da água do Rio Jacutinga no período de maio a outubro de 2014.

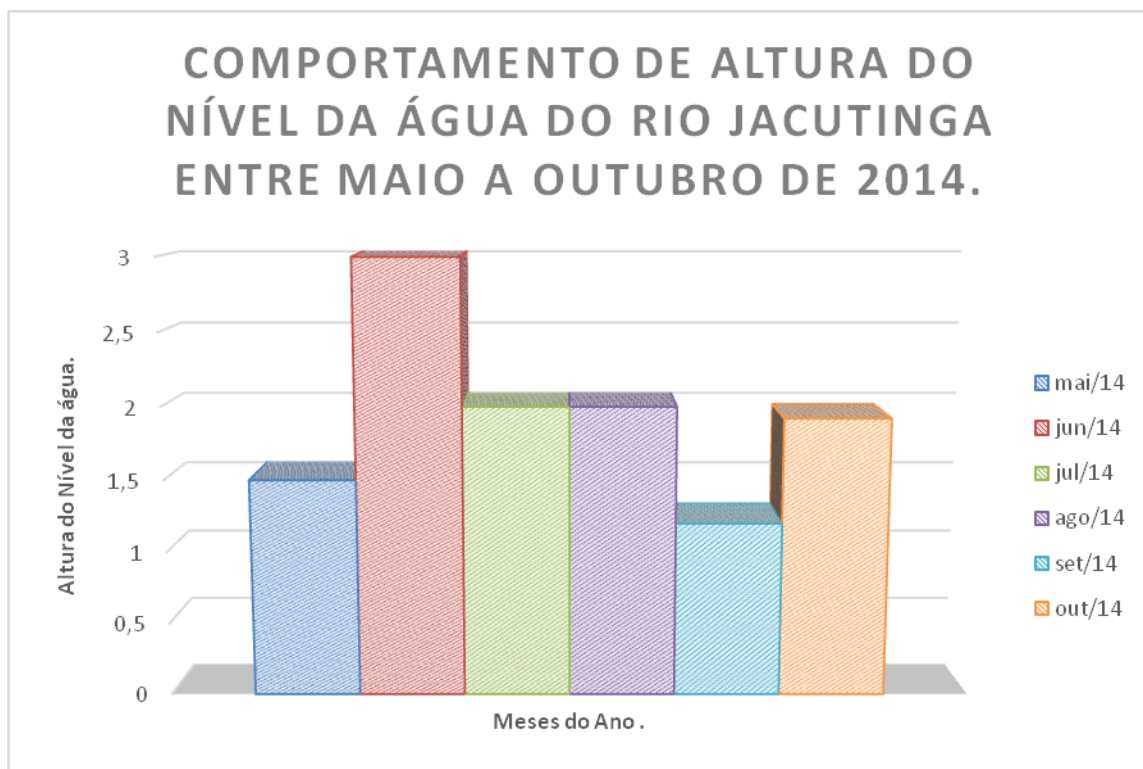


Gráfico 1. Comportamento mensal do nível de água do rio Jacutinga.

Fonte: Autoria Própria.

Como pode ser observado no gráfico 1, o nível da água do rio Jacutinga passou por variações significativas, durante o período de estudo.

4. APLICAÇÃO DA TEORIA

4.1 ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES

Aplicando a teoria de média aritmética simples sobre os dados da tabela 2 foi possível calcular o tempo médio gasto pelo flutuador para percorrer uma distância de dez metros. O resultado obtido está representado na tabela 3.

Tabela com informações do tempo médio do flutuado

Data	Tempo Médio (s)
31/10/2014	59

Tabela 3. Dados do tempo médio gasto para o flutuador percorrer um percurso de 10 metros.
Fonte: Autoria própria 2015.

Aplicando a teoria de média aritmética ponderada sobre os dados da tabela 1 foi possível calcular a profundidade média do rio Jacutinga no local de estudo. Os resultados aparecem na tabela 4.

Tabela com informações semestrais do nível da água do rio Jacutinga e pontos de coleta de dados.

Pontos	Profundidade Média (m)	Profundidade Média Diagonal (m)	
			Ponto de Coleta Lateral
5	2,00	1,65	10
6	2,03		
7	1,83		
8	1,25		
9	1,13		
10	2,87	2,13	20
11	2,67		
12	2,23		
13	2,03		
14	1,83		

Tabela 4. Dados com os valores médios do comportamento do nível da água do rio Jacutinga em 2014.

Fonte: Autoria própria 2015.

Utilizando a definição de cálculo de área (equação 14) e a definição de vazão apresentada por Braga (1999), (equação 1), em cima dos dados das tabelas 3 e 4 e o valor da largura do rio Jacutinga no ponto 10 metros, foi possível calcular a vazão média do rio no período entre 10 de maio de 2014 a 05 de outubro de 2014. O resultado obtido aparece na tabela 5.

Para o dimensionamento da CGH foi escolhida uma altura de barragem de 3 metros, pois é uma altura considerável e proporciona a CGH gerar uma quantidade razoável de energia. A área que seria inundada, caso fosse construída a barragem, é de aproximadamente 8500 m², como mostra a figura 11 fornecida pela SIGMA.

Para a determinação da potência mecânico-hidráulica que seria possível gerar, foram utilizadas as equações 9 e 10. Os resultados obtidos aparecem na tabela 5.

Levando os valores obtidos de vazão, potência mecânica e altura de barragem, até o gráfico 2 - que mostra o modelo das turbinas e sua respectiva área de trabalho - foi possível escolher o modelo de turbina que seria possível utilizar. O resultado obtido aparece na tabela 5.

Tabela com informações dos resultados da vazão média potência mecânica-hidráulica e modelo da turbina hidráulica.

Vazão (Q (m ³ /s))	Potência Mecânico – Hidráulica (kw)	Potência Mecânico – Hidráulica (cv)	Modelo da turbina hidráulica
4,68	117	159	BULBO

Tabela 5. Resultado dos cálculos de vazão, potência mecânico – hidráulica e modelo de turbina.
Fonte: Autoria própria 2015.

O gráfico a seguir mostra a região de operação das turbinas Bulbo, Kaplan, Francis e Pelton.

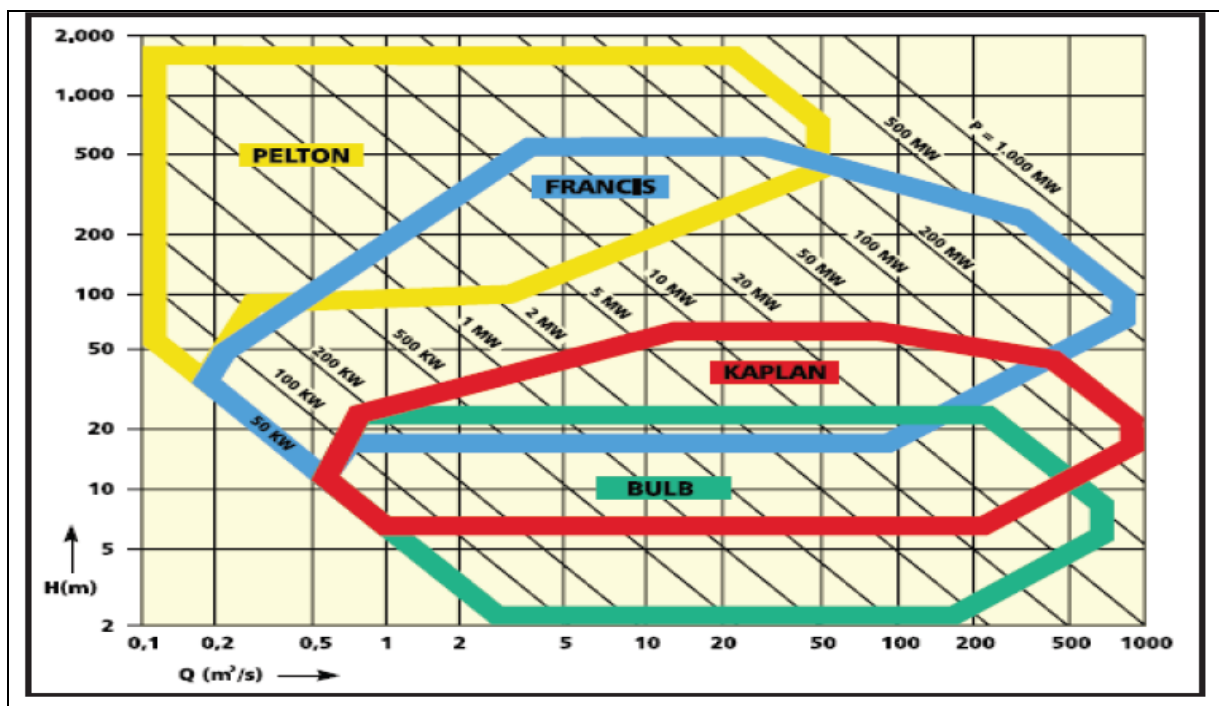


Gráfico 2. Região de operação das turbinas; Altura (H (m)) X Vazão (Q (m³/s)).

Fonte: ROCA – UTFPR - Catálogo VA TECH Hydro Brasil Ltda.

Com o valor da potência mecânico-hidráulica que aparece na tabela 5 e com ajuda do catálogo de geradores da Bambozzi que aparece na tabela 6 foi possível determinar o gerador a ser utilizado.

Tabela com informações do gerador síncrono modelo EISE (*Brushless*).

Potencia Gerada Contínua		Potência de Tração	Corrente de Saída (A)				Peso (Kg)		
KVA			CV (HP)	220 V	380 V		440 V	50Hz	60Hz
50Hz	60Hz	KW			50Hz	60Hz			
		48	80	158	91,2	---	78,8	40	38
70	70	56	94	184	106	92	92	45	40
80	80	64	107	210	122	105	105	47	45
---	100	80	134	363	---	131	131	50	47
100	---	80	134	363	152	---	131	54	50
---	125	100	168	328	---	164	164	---	53
120	---	96	161	315	182	---	158	70	54
125	---	100	168	328	190	---	164	74	70
140	140	112	188	368	213	184	184	87	74
---	150	120	201	394	---	197	197	94	87
---	168	134	225	441	---	221	221	122	94
150	---	120	201	394	228	---	197	128	122
160	---	128	214	420	243	---	210	177	128
180	180	144	241	473	244	237	237	---	177
---	200	160	268	526	---	263	163	196	163
---	215	172	288	565	---	282	282	205	196

Tabela 6. Dados de potência, corrente, peso e frequência do gerador síncrono modelo EISE (*Brushless*).

Fonte: Grupo Bambozzi.

A máquina escolhida é o gerador síncrono modelo EISE (*Brushless*), com potência de 150 KVA.

Com o valor da vazão que aparece na tabela 5, mais o valor da altura da água após a construção da barragem, que será em torno de três metros, e aplicando o Teorema de Bernoulli, mais especificamente a equação 7, foi possível determinar área da tubulação necessária para o escoamento da água que flui pelo rio. O valor encontrado está demonstrado na tabela 7.

Com o novo valor da área e utilizando a equação 17 foi possível determinar o valor do diâmetro da tubulação; o valor encontrado aparece na tabela 7.

Tabela com informações da área e do diâmetro da tubulação.

Área (m ²)	Diâmetro (Φ (mm))
0,900	1073

Tabela 7. Dados do diâmetro e área da tubulação.

Fonte: Autoria própria, 2015.

5. CONCLUSÃO

A potência hidráulica de 117 KW que a CGH será capaz de produzir é um valor bem significativo; com este valor de energia é possível sustentar vinte e um chuveiros de 5500 W ligados ao mesmo tempo. A propriedade do Senhor Ary Prebianca Polese consome, mensalmente, aproximadamente 350 kwh, um valor bem inferior ao potencial hidráulico existente em sua propriedade.

O levantamento topográfico mostra que se uma barragem de 3 metros fosse construída, a área inundada seria razoavelmente pequena, cerca de 8460 m², o que acarretaria em baixo impacto ambiental. Com a construção da barragem, o volume de água no reservatório aumentaria a pressão na boca da tubulação, fazendo com que a água passasse com mais velocidade por ela; esse fator é de grande importância para o dimensionamento do diâmetro da tubulação. Uma vez que a água tenha um aumento de sua velocidade de deslocamento em um determinado ponto, ela necessitaria de uma área para circulação, com isso, o diâmetro da tubulação poderia ser menor.

Os resultados poderiam ser mais satisfatórios se fosse possível gerar a mesma potência de 117 KW com uma altura de barragem menor, cerca de dois metros, que foi o resultado de um estudo anterior.

Quando buscou um valor comercial para o gerador encontrou o valor de 120 kW que é um valor muito próximo do calculado, com isso não se faz necessário desenvolver um projeto exclusivo para fabricar o gerador, que diminui o preço na compra do gerador uma vez que não se faz necessário a elaboração de um novo projeto para a construção do gerador.

A opção pela turbina Bulbo já era esperada, antes mesmo do levantamento dos dados do local, uma vez que o rio Jacutinga, no local de estudo, tem pouco desnível e muito volume de água, o que caracteriza a turbina Bulbo.

Para que este trabalho trouxesse uma maior contribuição, seria necessário um estudo pluviométrico mais prolongado para um maior entendimento a respeito do comportamento do rio Jacutinga, porém, os resultados obtidos aqui ajudaram a compreender um pouco mais sobre o comportamento do rio.

REFERÊNCIAS

A. E. Fitzgerald. **Máquinas Elétricas**. Bookman Companhia Editora LTDA, 2008.

ALBUQUERQUE, Rodrigo Barbosa da Fonseca e. Ebah. **Guia para o Dimensionamento de Turbinas Hidráulicas**. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAqFYAK/guia-dimensionamento-turbinas-hidraulicas?part=3>. Acesso em 06 de abril de 2015.

AZEVEDO Netto, José M. **Manual de Hidráulica**. Edgard Blucher LTDA, 1998.

BRASIL. Decreto nº 2.003, de 10 de setembro de 1996. Regulamenta a produção de energia elétrica por Produtor Independente e por Autoprodutor e dá outras providências. **Presidência da República Casa Civil Subchefia para Assuntos Jurídicos**. Brasília, DF, 10 set. de 1996. Disponível em www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D2003.htm. Acesso em 29 nov. de 2013.

_____. Resolução n.º 395, de 04 de dezembro de 1998. Estabelece os Procedimentos Gerais Para Registro e Aprovação de Estudos de Viabilidade e Projeto Básico de Empreendimentos de Geração Hidrelétrica, Assim Como da Autorização Para Exploração de Centrais Hidrelétricas Até 30 MW e dá Outras Providências. **Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/bres1998395.pdf>, Acesso em 29 de novembro de 2013.

_____. PortalDo Brasil. 14 abr, 2011. Infraestrutura. **País tem 331 Centrais Geradoras de Energia**. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2011/04/pais-tem-331-centrais-geradoras-de-energia>. Acesso em 15 de janeiro de 2014.

BRAGA JR Roberto Alves e Salecker Julio Cesar. **Mini e Micro Centrais Hidroelétricas**. UEL, 1999.

BRITISH BROADCASTING CORPORATION (BBC), **Guia de Energia Global**. Disponível em http://www.bbc.co.uk/portuguese/especial/1931_energia/index.shtml. Acesso em 20 de mai de 2012.

ÇENGEL Yunus A. e Cimbala John M. **Mecânica dos Flúidos, Fundamentos e Aplicações**. AMGH Editora LTDA, 2007.

FOLHA UOL., 05 fev, 2010. **Demanda mundial de Energia Crescerá 35% até 2030.** Disponível em <http://www1folha.uol.com.br/folha/dinheiro/ult91u690057.shtml>. Acesso em 19 de mai. de 2012.

GRUPO VIRTUOSOS. Só Matemática, **Média Aritmética Simples.** Disponível em: <http://www.somatematica.com.br/fundam/medias.php>. Acesso em 02 mai. de 2015.

GRUPO VIRTUOSOS. Só Matemática, **Média Ponderada.** Disponível em: <http://www.somatematica.com.br/fundam/medias.php>. Acesso em 02 mai. de 2015.

MARQUES, Domingues. Brasil Escola. NET. **Princípio da Conservação da Energia Mecânica.** Disponível em: <http://www.brasilecola.com/fisica/principio-conservacao-energia-mecanica.htm>. Acesso em 15 jan. de 2014.

PARANÁ. Portal Cidadão, 03 Out, 2013. **Governo Libera Licenças Para Pequenas Centrais Hidrelétricas.** Disponível em [www.cidadao.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=77051&tit = Governo-libera-licencas-para-pequenas-hidreletricas](http://www.cidadao.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=77051&tit=Governo-libera-licencas-para-pequenas-hidreletricas). Acesso em 15 de nov. de 2013.

PORTAL DA ENERGIA, 17 Mai, 2012. **Novas Regras Incentivam Energias Renováveis no Brasil.** Disponível em: www.portal-energia.com/novas-regras-incentivam-energias-renovaveis-no-brasil. Acesso em 20 de mai. de 2012.

REPOSITÓRIO E OUTRAS COLEÇÕES ABERTAS (ROCA), UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ (UTFPR), 05 Jul, 2012. **Estudo Prévio da Instalação de uma Pequena Central Hidrelétrica no Manancial do Rio Pato Branco no Estado do Paraná.** Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/442/1/PB_COECI_2012_1_03.pdf. Acesso em 01 de mai. de 2015.

SIGMA, 08 Abr, 2014. **Sigma Topografia e Engenharia Florestal.** Endereço: Rua Governador Jorge Lacerda, 209 Centro - Pato Branco – PR. Email: sigmatopografia@hotmail.com.

TEIXEIRA, Aloisio S; 18 Nov, 2012. **Cálculo da Área do Círculo com Integral.** Disponível em: <http://elementosdeteixeira.blogspot.com.br/2012/11/086-calculo-da-area-do-circulo-com.html>. Acesso em 08 de mai. de 2015.

SIMONE, Gilio Aluisio. **Centrais e Aproveitamentos Hidrelétricos.** Érica LTDA, 2012.

SOUZA, Zulcyde; SANTOS Afonso Henriques Moreira; BORTONI Edson da Costa. **Centrais Hidrelétricas.** Implantação e Comissionamento. Editora InterciênciaLTDA, Rio de Janeiro 2009.

_____. Grupo Bambozzi. 09 de mai, 2015. Grupos Geradores: <http://www.bambozzi.com.br/website/alternadores/produtos.php?produto=85>. Acesso em 09 de maio de 2015.

_____. Isa.com. 04 de mai, 2015. **Cálculo Integral**. Disponível em: http://www.isa.utl.pt/dm/mat1AP/mat1AP/anos_antteriores/2010-11/CalculoIntegral_Folhas.pdf. Acesso em 05 de maio de 2015.

_____. Okokchina.com. 06 abr, 2015. *Depthmate Portable Souder*. **Model SM-5**. Disponível em: <http://www.okokchina.com/p/ZZ-Other-Measuring-Meters-Gauges/Depthmate-Portable-Souder-432741.html>. Acesso em 06 de abril de 2015.

ANEXOS

O fluxograma que aparece na figura 17, mostra como foi elaborado o trabalho de conclusão de curso.

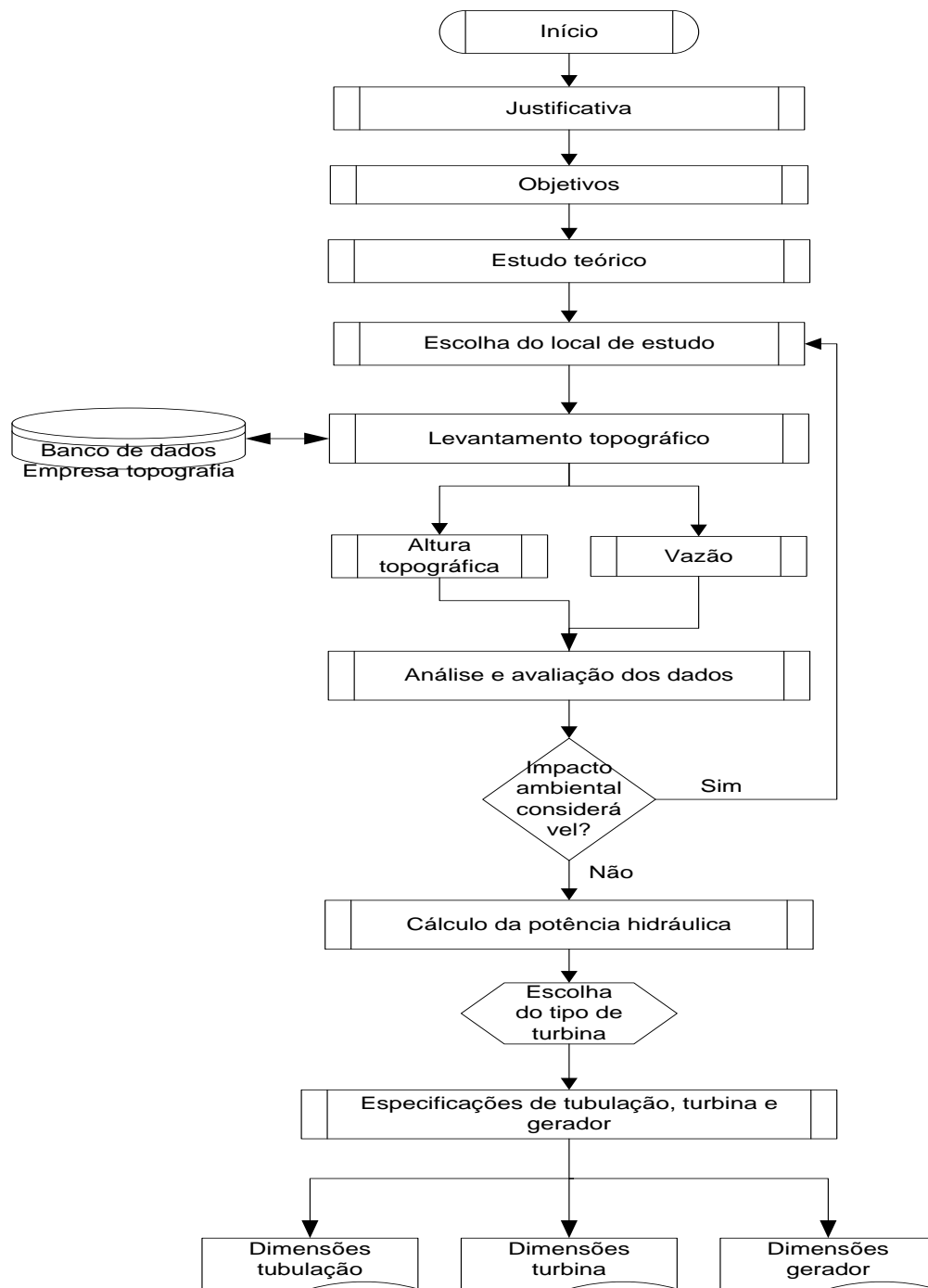


Figura17. Fluxograma do Trabalho de Conclusão de Curso.
Fonte: Autoria Própria.