



Universidade de Brasília
Faculdade do Gama
Engenharia de Energia

DANIEL MOREIRA CARREIRA

**ANÁLISE DE CAPACIDADE DE GERAÇÃO DE MICRO CENTRAL HIDRELÉTRICA
EM SISTEMA ISOLADO**

Brasília – DF

2023

DANIEL MOREIRA CARREIRA

**ANÁLISE DE CAPACIDADE DE GERAÇÃO DE MICRO CENTRAL HIDRELÉTRICA
EM SISTEMA ISOLADO**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Professor Orientador: Dr. Rudi Henri Van Els

Brasília – DF

2023

DANIEL MOREIRA CARREIRA

**ANÁLISE DE CAPACIDADE DE GERAÇÃO DE MICRO CENTRAL HIDRELÉTRICA
EM SISTEMA ISOLADO**

A Comissão Examinadora, abaixo identificada, aprova o Trabalho de Conclusão do Curso de
Administração da Universidade de Brasília do aluno

Daniel Moreira Carreira

Dr. Rudi Henri Van Els
Professor Orientador

Dr. Luciano Noletto,
Professor Examinador

Dr. Matheus Nunes
Professor Examinador

Brasília, 07 de dezembro de 2023

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao único merecedor de toda glória e honra, porque dEle, por Ele e para Ele são todas as coisas. Àquele que me deu forças para continuar quando quis desistir e direcionou os meus passos como lâmpada para os meus pés.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me permitir viver e ter as condições que tive ao longo da graduação. Agradeço a minha família pelo apoio e suporte demonstrados durante toda a graduação. Agradeço ao professor por me acompanhar nessa jornada e a todo o corpo docente da Instituição.

RESUMO

Este trabalho busca analisar a capacidade de geração de energia da Chapada Imperial, uma pousada repleta de cachoeiras que recebe cerca de 150 turistas aos finais de semana, localizada próximo a Brazlândia, Distrito Federal, e gera sua própria energia por meio de uma micro central hidrelétrica (MCH). A propriedade não possui conexão à linha de distribuição, caracterizando um sistema isolado, por isso sua geração é particular e abastecida pela MCH. O proprietário tem interesse em aumentar a geração de energia. Para determinar se esse aumento pode ser alcançado sem grandes modificações, é crucial compreender a condição inicial. Isso permitirá avaliar se a simples melhoria no rendimento da turbina local é suficiente ou se é necessária uma alteração mais significativa, considerando que o rendimento atual da turbina pode já ser satisfatório. O objetivo geral do trabalho parte da análise da curva de carga da estrutura de forma a subsidiar o estabelecimento do potencial que a instalação pode alcançar. De posse deste resultado, associado ao consumo atual, busca-se estimar, com margem segura, se a estrutura atual, ou seja, se o potencial energético disponível é suficiente para suprir a demanda desejada. A metodologia utilizada envolve a coleta de dados das características relevantes do local, como vazão e curva de carga. A verificação da vazão foi guia mestre para identificar o potencial máximo disponível de energia. Associando o resultado da vazão ao comportamento da rede elétrica atual, pode-se identificar a eficiência do sistema. Este estudo busca contribuir não apenas com o incremento do potencial energético da pousada Chapada Imperial, mas também de fornecer informações que possam contribuir com projetos futuros para propriedades com características similares. Por fim, este projeto busca informar ao empreendimento se sua estrutura está adequada às suas necessidades. Espera-se que com este trabalho o conhecimento adquirido ao longo da graduação possa ser colocado em prática para o desenvolvimento de uma solução de engenharia em análise de sistemas isolados.

Palavras-chave: Turbina Pelton; Turbinas Hidrelétricas; Micro Central Hidrelétrica.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Esquemático da Micro Central Hidrelétrica presente na Chapada Imperial..... | 12 |
| Figura 2 - Turbina Pelton de eixo horizontal e seus principais componentes | 19 |
| Figura 3 - Diagrama de velocidades na pá da turbina | 20 |
| Figura 4 - Esquemático de Turbina Pelton e bico injetor..... | 22 |
| Figura 5 - Projeto conceitual de Bico Injetor | 22 |
| Figura 6 - Turbina Pelton com 6 jatos.. | 23 |
| Figura 7 - Mapa de distribuição da Chapada Imperial | 35 |
| Figura 8 - Estrutura do reservatório atual..... | 36 |
| Figura 9 - Primeira grade do reservatório..... | 37 |
| Figura 10 - Segunda grade presa a uma alavanca para retirada e limpeza | 37 |
| Figura 11 - Vazão excedente na barragem no período de cheia..... | 38 |
| Figura 12 - Tubulação entre o reservatório e a turbina com vazamentos apresentando vazamentos | 39 |
| Figura 13 - Tubulação no encontro com a casa de máquinas..... | 39 |
| Figura 14 - Caixa contendo a turbina e chegada da tubulação | 40 |
| Figura 15 - Quadro de energia presente na casa de máquinas..... | 40 |
| Figura 16 - Saída do cabeamento da casa de máquinas..... | 41 |
| Figura 17 - Cabeamento erguido por postes de madeira com ponto para para-raios | 41 |
| Figura 18 - Quadro de energia de recebimento, localizado na casa de um dos caseiros..... | 41 |
| Figura 19 - Voltímetro do quadro elétrico..... | 45 |
| Figura 20 - Amperímetro Fluke 305..... | 48 |
| Figura 21 - Saída da tubulação para melhor canalização de água | 49 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Classificação por unidade de potência | 11 |
| Tabela 2 - Medições de tempo [s] para enchimento de recipiente de 20 litros. | 43 |
| Tabela 3 - Média dos tempos medidos do preenchimento do recipiente de 20 litros..... | 44 |
| Tabela 4 - Média dos valores de Vazão a partir do recipiente de 20 litros. | 44 |
| Tabela 5 - Equipamentos em uso no sistema..... | 46 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|--------------|--|
| ANEEL | Agência Nacional de Energia Elétrica |
| APA | Área de Proteção Ambiental |
| DNAEE | Departamento Nacional de Águas e Energia |
| EPE | Empresa de Pesquisa Energética |
| kW | Quilowatt |
| MCH | Micro Central Hidrelétrica |
| MMH | Manual de Minicentral Hidrelétrica |
| PCH | Pequena Central Hidrelétrica |
| RV | Reguladores de Velocidade |
| SIN | Sistema Interligado Nacional |
| TCC | Trabalho de Conclusão de Curso |
| TH | Turbina Hidráulica |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 Introdução | 11 |
| 1.1 Justificativa | 13 |
| 1.2 Objetivo Geral | 13 |
| 1.3 Objetivos Específicos | 13 |
| 2 Referencial Teórico | 14 |
| 2.1 Vazão | 16 |
| 2.2 Altura de queda..... | 17 |
| 2.3 Classificação de Turbinas | 18 |
| 2.3.1 Turbinas de Ação..... | 18 |
| 2.3.2 Pás da turbina..... | 20 |
| 2.3.3 Bico injetor | 21 |
| 2.4 Tubulação | 24 |
| 2.5 Volantes de Inércia | 25 |
| 2.6 Tomada d'água | 25 |
| 2.7 Golpe de Aríete..... | 26 |
| 2.8 Geradores..... | 26 |
| 2.9 Regulador de Velocidade..... | 28 |
| 2.10 Potência | 28 |
| 2.11 Evolução das Micro Centrais Hidrelétricas (MCHs)..... | 29 |
| 2.12 Sistemas Isolados e Microgeração..... | 30 |
| 2.13 Desafios e oportunidades na construção..... | 31 |
| 2.14 Legislação e Regulação | 31 |
| 2.15 Estudos e Pesquisas anteriores | 32 |
| 3 Descrição da estrutura da Chapada Imperial | 34 |
| 4 Metodologia | 42 |
| 4.1 Coleta de dados..... | 43 |
| 4.1.1 Vazão | 43 |
| 4.1.2 Carga | 46 |
| 4.2 Viabilidade técnica | 50 |
| 5 Resultados e Discussão | 51 |
| 6 Conclusão | 52 |
| 7 Referências | 54 |

1 Introdução

A demanda crescente por energia elétrica aliada à necessidade de fontes renováveis e sustentáveis tem impulsionado a busca por soluções energéticas em áreas isoladas. Neste contexto, as micro usinas hidroelétricas, ou MCHs, surgem como alternativas promissoras para suprir a demanda energética de locais remotos, como é o caso da pousada Chapada Imperial.

Este empreendimento é uma pousada localizada dentro de uma reserva, próximo a Brazlândia, Distrito Federal, que recebe turistas aos finais de semana para desfrutarem de sua estrutura ecológica e de suas várias trilhas e cachoeiras presentes no local.

A Chapada Imperial não possui conexão à rede de Distribuição e por isso, é classificada como um sistema isolado, sua energia é particular e gerada em uma micro central hidrelétrica.

A utilização de turbinas Pelton, projetadas para aproveitar quedas d'água elevadas, apresenta-se como uma opção eficiente para esse fim.

De acordo com as diretrizes estabelecidas pela Eletrobras e pelo Departamento Nacional de Águas e Energia (DNAEE) em 1985, as Micro Centrais Hidrelétricas (MCH) são caracterizadas como unidades geradoras com potência inferior a 100 quilowatts (kW) (Eletrobras, 1985a). Por sua vez, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) define a Microgeração Distribuída como aquela que possui até 75 kW de potência. A tabela a seguir ilustra de forma mais clara essa classificação (Tabela 1).

Tabela 1 - Classificação por unidade de potência

| | | |
|-------------------------------|---|-------------------|
| Eletrobras (1985a) | Micro | < 100 kW |
| | Mini | < 1.000 kW |
| | Pequenas | 1.000 - 10.000 kW |
| ANEEL | Microgeração Distribuída | < 75 kW |
| | Minigeração Distribuída (para fontes despacháveis) | 75 kW - 5 MW |

Fonte: Eletrobras, 1985a.

A geração distribuída é conceituada pelo Artigo 14 do Decreto-Lei n.º 5.163 de 2004. O artigo define geração distribuída como a produção de energia elétrica originada de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, que se conectam diretamente ao sistema elétrico de distribuição do comprador. No entanto, essa definição exclui a energia proveniente de:

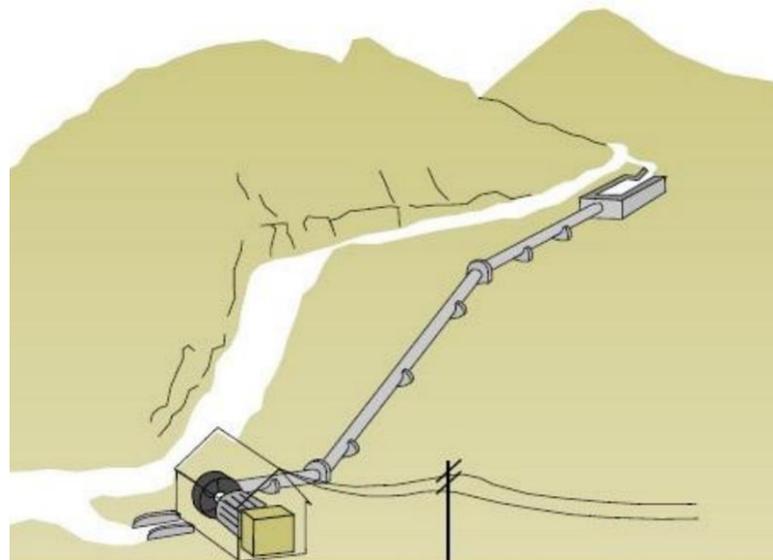
- Usinas hidrelétricas com capacidade instalada superior a 30 MW;
- Usinas termelétricas, incluindo cogeração, com eficiência energética inferior a 75%.

Posteriormente, em 2012, a Resolução Normativa n.º 482 foi introduzida, estabelecendo as diretrizes regulatórias para a integração da geração distribuída na matriz energética nacional. Esta resolução define a microgeração distribuída como sistemas de geração de energia renovável ou cogeração qualificada conectados à rede com potência de até 75 kW.

A partir dessa classificação, a Central Geradora localizada na Chapada Imperial não se caracteriza como microgeração distribuída, mas corresponde à definição de Micro Central Hidrelétrica (MCH), considerando a estimativa de sua potência, aproximadamente 2 kW.

O atual cenário deste empreendimento consiste em uma MCH movida por máquina hidráulica, visando suprir a demanda energética da pousada e pode ser visto sua estrutura atual de acordo com a figura abaixo.

Figura 1 - Esquemático da Micro Central Hidrelétrica presente na Chapada Imperial



Fonte: Castro *et al.*, 2011.

O objetivo deste trabalho é avaliar a condição atual da pousada, bem como a demanda energética presente buscando, desta forma, verificar se o potencial existente é capaz de suprir essa demanda ou se é necessário realizar modificações. Será realizada uma análise do sistema hidroelétrico existente, levando em consideração as características locais e capacidade de geração atual.

1.1 Justificativa

A MCH existente na Chapada Imperial mantém-se operacional por mais de uma década, porém, sua capacidade tem se revelado insuficiente diante das necessidades do proprietário, que almeja expandir suas instalações para acomodar um maior número de pessoas, proporcionando maior conforto e comodidade aos hóspedes. Este aumento na demanda por energia despertou o interesse em reformular a estrutura da casa de máquinas para ampliar a capacidade de geração.

Dado que a premissa central do empreendimento é a sustentabilidade e a minimização do impacto ambiental, e considerando os elevados custos associados aos geradores a diesel, os quais não se adequam a esses princípios, torna-se inviável a utilização destes para expandir a capacidade de geração. Portanto, a expansão da capacidade da MCH surge como uma solução ambientalmente consciente e promissora.

A máquina hidráulica já está em operação na micro central, no entanto, torna-se essencial examinar as condições atuais antes de tomar qualquer decisão relacionada ao aumento da capacidade de geração.

Portanto, este estudo tem como objetivo avaliar a estrutura existente e as demandas do empreendimento, a fim de compreender o potencial hídrico atual e verificar se um aumento de eficiência seria suficiente para corresponder às necessidades do proprietário, ou se uma reformulação deve ser proposta para incremento na infraestrutura de geração de energia.

1.2 Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho parte da análise da curva de carga da estrutura de forma a subsidiar o estabelecimento do potencial que a instalação pode alcançar. De posse deste resultado, associado ao consumo atual, busca-se estimar, com margem segura, se a estrutura atual, ou seja, se o potencial energético disponível é suficiente para suprir a demanda desejada.

1.3 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral deste trabalho será necessário:

1. Obter a curva de perfil de carga da Chapada Imperial a partir de um levantamento de potência requerida de cada equipamento;
2. Obter dados de vazão com medições realizadas no local;
3. Descobrir qual o potencial de capacidade de geração passível de ser atingido;
4. Analisar o rendimento da estrutura dadas as condições medidas;

5. Verificar se a estrutura atual suporta um aumento de carga ou se é necessário a reestruturação;

2 Referencial Teórico

As Usinas Hidrelétricas têm a finalidade de converter energia potencial ou cinética da água em eletricidade, aproveitando o fluxo hídrico para girar turbinas acopladas a conversores de energia. No entanto, sua eficiência está intimamente ligada à disponibilidade de água nos recursos hídricos, variando ao longo do ano devido aos períodos de chuva e seca.

Para manter uma geração de energia constante durante todo o ano, a construção de barragens ou represas se torna essencial, armazenando água em reservatórios capazes de equilibrar a produção nos períodos de escassez. Essas estruturas fundamentais permitem que a geração de energia não seja tão impactada por flutuações climáticas.

Existem diferentes tipos de centrais hidrelétricas, algumas das quais não necessitam de grandes reservatórios e têm menor impacto ambiental. Por exemplo, as Usinas a Fio d'água são empregadas em locais onde a vazão do rio é suficiente para a demanda de energia, dispensando a necessidade de grandes reservatórios. Estas usinas utilizam um reservatório para conduzir a água à tubulação, aproveitando-a parcialmente e desconsiderando o armazenamento.

A usina da Pousada Chapada Imperial se enquadra na categoria das Usinas a Fio d'água. Seu reservatório direciona a água, não a armazena, desempenhando também o papel de regularizar a vazão em rios com variações significativas para o projeto.

A parte central dessas usinas são as turbinas, responsáveis por captar o fluxo de água e transferir a rotação aos geradores. Existem duas categorias principais de turbinas: as de reação, usadas para vazões maiores e maior versatilidade, como as turbinas Kaplan e Francis, e as de ação, ideais para alturas elevadas, exemplificadas pela turbina Pelton.

Essas usinas, quando implantadas em menor escala e em locais sem acesso à rede elétrica, representam uma solução viável para atender à demanda energética, mantendo a independência energética com confiabilidade e baixo impacto ambiental. A utilização desses sistemas isolados, quando o terreno oferece características propícias ao aproveitamento hídrico, torna-se uma alternativa atrativa.

A presença de várias cachoeiras e nascentes na propriedade possibilitou a construção de uma barragem de pequenas dimensões para abastecer uma turbina Pelton.

De acordo com as normativas estabelecidas pela Eletrobras e DNAEE, 1985, existem elementos principais para a constituição de uma MCH, sendo ajustados conforme a característica do local e demandas do projeto, os elementos são:

- Barragem ou estrutura de captação: Responsável por desviar ou captar a água de um curso d'água para a central hidrelétrica.
- Canal de adução: Canal que transporta a água da barragem até a casa de máquinas.
- Casa de máquinas: É o local onde estão instalados os equipamentos principais da central hidrelétrica, incluindo as turbinas, geradores, dispositivos de controle e monitoramento.
- Turbinas: Transformam a energia hidráulica da água em energia mecânica através da rotação das pás. Nas MCHs, podem ser utilizadas turbinas de diversos tipos, como a Pelton, Francis, Kaplan, entre outras, dependendo das características do fluxo de água.
- Geradores: Equipamentos que convertem a energia mecânica produzida pelas turbinas em energia elétrica.
- Sistema de controle e monitoramento: Responsável por controlar o funcionamento das turbinas, geradores e demais equipamentos, além de monitorar o desempenho e a segurança da MCH.
- Sistema de descarga de água: Canal ou estrutura que permite o escoamento controlado da água após passar pelas turbinas, devolvendo-a ao curso d'água original.

Para conceber um projeto de Micro Central Hidrelétrica (MCH), é primordial possuir conhecimentos preliminares específicos, conforme indicado pela Eletrobras e o DNAEE (1985b) tais como: as vazões naturais do fluxo de água, a altura da queda do aproveitamento e a capacidade de geração requerida para atender às necessidades do consumidor final.

Embora conduzida após a implementação da central geradora, esta pesquisa visa compreender tais atributos. O intuito é levantar os dados atuais para viabilizar, em um futuro próximo, projetos mais amplos, enquanto garante um entendimento abrangente da estrutura atual. Isso possibilitará a conclusão do interesse de aumentar a capacidade de geração de forma segura e precisa.

O primeiro parâmetro relevante de se destacar é a medição de Vazão.

2.1 Vazão

A determinação da vazão é um parâmetro de grande importância no contexto do projeto, uma vez que indica a quantidade de fluido disponível para a conversão de energia. Diversos métodos são empregados para aferir a vazão real, incluindo:

- **Medição Gravimétrica:** Este método baseia-se na medição do tempo necessário para o enchimento de um barril ou balde, permitindo calcular o volume em função do tempo.
- **Vertedouro:** É um dispositivo geométrico situado no fluxo do rio, que identifica a altura da água. Daker (1983) sugere sua aplicabilidade em cursos de água com vazões inferiores a 300 litros por segundo. O vertedouro triangular é preferível ao retangular em riachos menores, proporcionando uma medição mais viável.
- **Calhas:** Utilizadas em córregos, possibilitam a determinação da velocidade do escoamento pela área.
- **Método dos Molinetes:** Reconhecido pela sua precisão, é o mais comumente empregado na medição de vazão. Souza, Fuchs e Santos (1983) descrevem que este método consiste em uma hélice cuja rotação é proporcional à velocidade do líquido. O dispositivo é conectado a um sistema de engrenagens que, a cada determinado número de voltas, aciona um contato elétrico, permitindo ao operador na superfície calcular a velocidade do fluxo analisado.

Conforme Bredow (2007), diferentes métodos de medição são mais eficazes em determinadas faixas de vazão. O método de vertedouro demonstra melhores resultados em vazões de até 500 l/s, enquanto o método de área (média) por velocidade é mais recomendado para vazões até 2.000 l/s. Já o método com molinete é mais preciso em vazões superiores a 2.000 l/s.

Embora o uso do vertedouro seja economicamente vantajoso, sua operação é desafiadora em áreas com numerosas cachoeiras, e a instalação da tubulação pode prejudicar a precisão da medição. Por outro lado, a medição gravimétrica revela-se a abordagem mais prática dentro da infraestrutura atual, permitindo a colocação de um recipiente ao final da estrutura para coletar a água que atravessa a turbina.

A vazão pode ser calculada multiplicando a velocidade de saída da tubulação do fluido com a área da seção do tubo conforme a seguinte equação:

$$Q = V \times A \quad [1]$$

O valor da velocidade pode ser encontrado com o uso dessa equação para ser usado em diferentes etapas do projeto como o dimensionamento da turbina, por exemplo.

De acordo com o Manual de Minicentraís Hidrelétricas, o suprimento de Energia a um sistema isolado pode ser calculado da seguinte maneira:

$$Q_n = \frac{P_R}{7,16H_l} \quad [2]$$

Onde:

- Q_n é a vazão necessária, em m³/s;
- P_R é a potência requerida do sistema, em kW;
- H_l é a queda líquida, em m.

Este cálculo demonstra uma expectativa, após saber a vazão e altura de queda da estrutura atual, o quanto que pode se esperar para a potência requerida da pousada e ser utilizada como valor de referência. A altura líquida da equação será elaborada na próxima seção.

Este valor de vazão serve para determinar se a usina será a fio d'água ou se seu reservatório servirá para armazenamento hídrico, onde o primeiro caso acontece se a vazão for igual ou inferior à 95% da vazão diária, por outro lado, se for maior do que esse valor, a usina será projetada para que seu reservatório também tenha a capacidade de armazenamento.

Contudo como já discutido anteriormente, este valor servirá de referência do que já foi construído na pousada para se ter uma expectativa de potência requerida ou para identificar se existe a necessidade de que seja construído um reservatório maior do que o existente.

2.2 Altura de queda

A altura de queda é outro fator que é escolhida e analisada previamente ao projeto a depender das condições locais. Uma altura maior resulta em uma energia potencial superior e com isso, uma energia cinética mais elevada será percebida na saída da tubulação resultando em uma capacidade de geração maior.

De acordo com o Manual de Minicentraís Hidrelétricas a altura líquida é menor do que a queda bruta, para casa de máquinas localizadas até 80 metros do reservatório, o considerado deve ser de 3% de perdas de carga da queda bruta, porém o valor medido será o valor de queda líquida não havendo necessidade de considerar 3% de perda de carga do valor encontrado.

Para determinar a altura de queda, uma das abordagens envolve a colocação de um manômetro próximo à saída da tubulação para medir o valor da queda e convertê-lo em metros de

coluna d'água (mca). No entanto, essa metodologia é desafiadora devido à exigência de interromper o funcionamento da turbina e à necessidade de perfuração na tubulação, o que torna o processo complexo e oneroso.

Outra maneira de medirmos é através de um altímetro para identificar a diferença de altura entre o ponto da turbina e o reservatório.

O resultado previamente discutido no local é de que a diferença de altura entre o reservatório e a turbina é de aproximadamente 20 metros.

2.3 Classificação de Turbinas

As turbinas também são conhecidas como máquinas motrizes pois transformam energia hidráulica em energia mecânica e são subdivididas em 2 categorias:

- Turbinas de Reação: consistem em rotores completamente submergidos na água onde o fluido diminui a pressão à medida que atravessa as pás da turbina. Essas turbinas seguem o princípio básico da 3ª Lei de Newton, para todas as forças de ação, surgem forças de reação com intensidades iguais, mas sentidos opostos. São indicadas para usinas onde se obtém altas vazões e baixas quedas. Como exemplo de turbinas de reação, se tem a turbina Kaplan e a turbina Francis;
- Turbinas de Ação: consistem em converter em energia mecânica rotacional a partir da energia cinética da água. Essas turbinas seguem o princípio básico da 2ª Lei de Newton e são mais apropriadas para altas quedas e baixas vazões. Foram baseadas nos antigos moinhos d'água e rodas d'água e seu exemplo é a turbina Pelton e roda Pelton.

O presente trabalho dará foco às turbinas de ação pois a roda Pelton foi escolhida para a central da pousada Chapada Imperial dadas às condições de vazão baixa e queda elevada.

2.3.1 Turbinas de Ação

As turbinas de Ação, como a turbina Pelton, se assemelha às rodas d'água utilizadas a centenas de anos, desde a antiga Grécia, Roma, China, entre outros em moinhos d'água ou como transportes de água, seu uso era principalmente relacionado com pequenas vazões, pequenas quedas d'água e sempre atuantes mediante a pressão atmosférica.

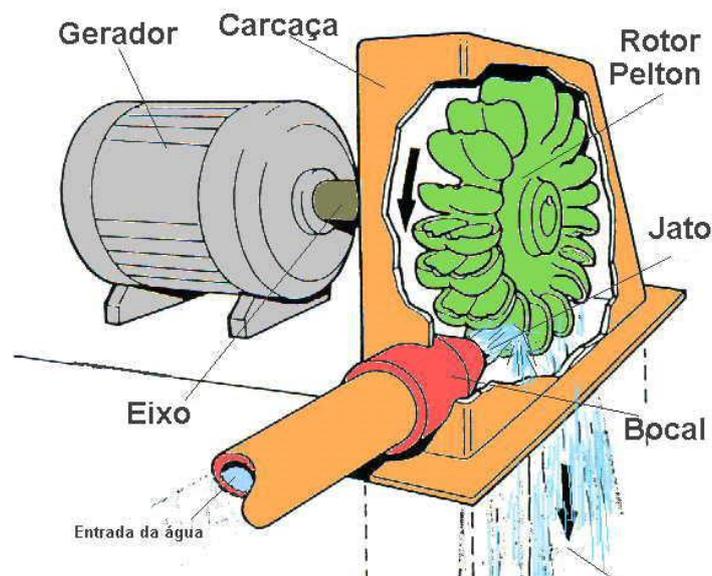
A turbina Pelton é uma grande evolução dessa tecnologia, desenvolvida pelo carpinteiro americano Lester Allan Pelton e modificada para vazões menores, quando relacionadas com as

turbinas de reação, porém com grandes quedas d'água e aplicada a pressão atmosférica assim como a roda d'água.

A transferência de energia ocorre de maneira que a energia potencial hidráulica é totalmente convertida em energia cinética no fluido e em seguida convertida em energia mecânica rotacional ao atingir as pás da turbina, que alinhadas ao gerador, produz energia.

O princípio de funcionamento básico para a turbina de ação é a 2ª Lei de Newton, ou seja, a força resultante em um corpo é resultado do produto entre sua massa e aceleração.

Figura 2 - Turbina Pelton de eixo horizontal e seus principais componentes



Fonte: Mello Junior, 2000.

A turbina Pelton pode ser construída com seu eixo na horizontal ou na vertical e não fica submersa no fluido como é o caso da turbina Francis, ela fica a jusante do reservatório e recebe o fluido alinhado com suas pás.

Sua principal atuação é em centrais hidrelétricas de baixa vazão e altas quedas. Quando inserida nessas condições, sua eficiência pode superar 90% (Noletto, 2022).

Na pousada em questão, a MCH é constituída de uma roda Pelton de eixo horizontal, e como foco do presente artigo, alguns elementos devem ser destacados bem como os cálculos para o melhor desenvolvimento considerando as condições da Chapada imperial, tais como, velocidade de rotação específica, número de jatos, velocidade do jato, número ideal de pás, entre outros dimensionamentos relevantes do projeto.

Uma diferença crucial que deve ser levantada é entre roda e turbina Pelton. A roda Pelton é menos sofisticada e de aplicação mais rústica do que a turbina, sendo o fator determinante a

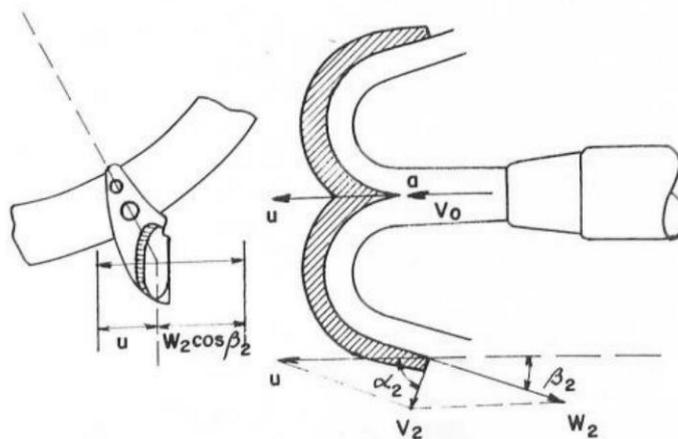
existência de um bico injetor capaz de controlar a vazão de água. Quando na usina não existe o controle de vazão ou da velocidade do jato d'água, caracteriza-se como uma roda Pelton ao passo que, na presença destes fatores, um ou mais bicos injetores, caracteriza-se uma turbina Pelton.

Na situação atual da usina em questão, a roda Pelton está em operação pois não possui bicos injetor. Contudo será referenciado como turbina Pelton apenas por fazer sentido ao projeto e por facilitar a compreensão e busca na literatura acadêmica.

2.3.2 Pás da turbina

Como pode ser visto na figura 3 as pás da turbina têm o formato de dupla concha para uma melhor otimização do jato, de forma que ao atingir o centro da pá na junção de cada lado da concha, a água deslize pela superfície até sair pela lateral. Num caso ideal, este ângulo β seria de 180° , porém se o fosse, o jato de saída entraria em contato com o jato de entrada gerando turbulência no fluxo do fluido, por isso, este ângulo é corrigido para um valor inferior a 180° , em torno de 160° a 170° de maneira que o fluido possa sair da pá sem atrapalhar o fluido que entra.

Figura 3 - Diagrama de velocidades na pá da turbina



Fonte: Macintyre, 1983.

Como pode ser visto na figura, o jato d'água atinge a concha no seu ponto ótimo na junção entre as duas cavidades da concha no centro da pá. Onde:

- a = Grau de abertura do sistema diretor de uma turbina
- W = Velocidade relativa da corrente fluida
- V = Velocidade absoluta
- u = Velocidade da pá

- β = Ângulo que forma o sentido positivo de W com o negativo

Outro detalhe a se considerar é a sucessão de pás e como isso afeta o escoamento. A turbina rotaciona no seu eixo ao passo que o jato permanece na mesma posição, a pá que vem em seguida passa a receber o jato em seu lugar ao mesmo tempo que uma parte do fluido continua a atingir a pá anterior.

Para se calcular o número de pás em uma turbina é necessário a seguinte equação:

$$Z = \frac{4D}{\pi H} \tan\left(\frac{\beta}{2}\right) \quad [3]$$

Onde:

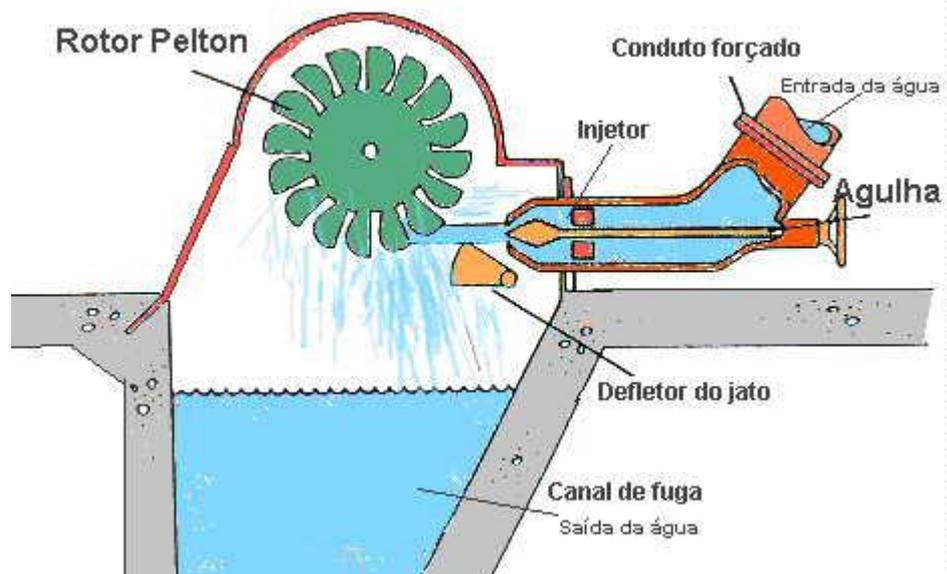
- Z é o número de pás da turbina
- D é o diâmetro da roda da turbina
- H é a altura de queda d'água
- β é o ângulo do defletor

Vale destacar que este cálculo demonstra uma previsão teórica para o número de pás para uma turbina, contudo na indústria deve se considerar a turbina mais próxima de todos os valores atribuídos, não apenas de número de pás, mas de tamanho e potência indicados pelo fabricante.

2.3.3 Bico injetor

Um elemento de extrema importância para otimizar sua eficiência é o bico injetor, uma agulha capaz de controlar a vazão situada na tubulação logo atrás do seu limite. Seu funcionamento consiste em se locomover em apenas um eixo de maneira que ao se aproximar da saída da tubulação a vazão diminui até interromper integralmente a saída do fluido, o movimento contrário permite o aumento da vazão até o desejado.

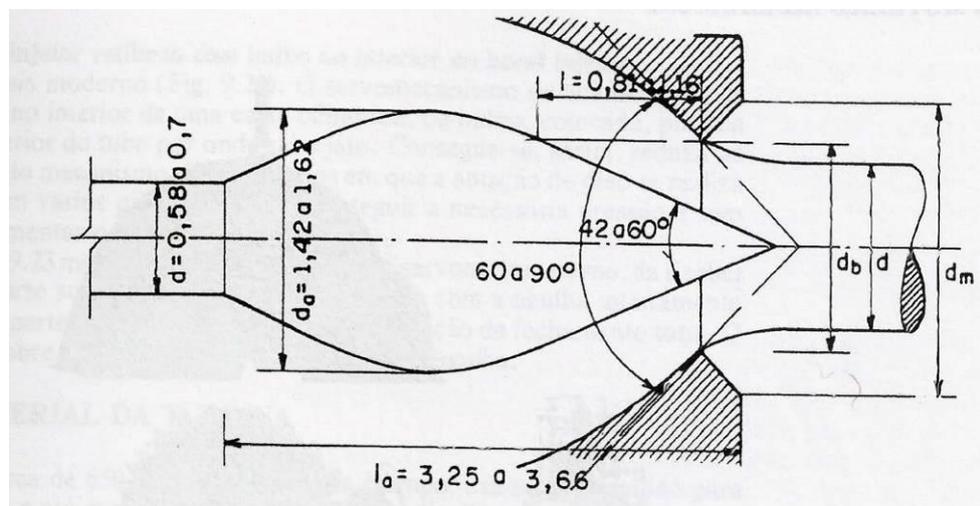
Figura 4 - Esquemático de Turbina Pelton e bico injetor



Fonte: Mello Junior, 2000.

A agulha possui essa forma para que o escoamento permaneça o mais laminar possível, minimizando as turbulências e garantindo um escoamento laminar ao entrar em contato com as pás. Apesar do formato de agulha algumas perdas mínimas devem ser levadas em consideração, o coeficiente de perdas da agulha ϕ é de aproximadamente 97% de aproveitamento. A seguir pode ser visto um esquemático do bico injetor.

Figura 5 - Projeto conceitual de Bico Injetor



Fonte: Macintyre, 1983.

Outro destaque dos bicos injetores é a possibilidade de haver mais de um jato atingindo a turbina, com projetos podendo chegar a até 6 jatos. A adição de jatos aumenta o rendimento da

turbina e causa a diminuição do tamanho do rotor no projeto, por outro lado, aumenta o custo e a complexidade do projeto.

Como a turbina Pelton pode ser de eixo horizontal ou de eixo vertical, os jatos devem seguir as mesmas direções, sendo que em eixo horizontal, como é o caso do projeto em questão, tende-se a limitar a quantidade de jatos possíveis atingindo as pás do rotor, o indicado é até três, em eixo horizontal, contudo geralmente utilizam-se dois. Já em eixo vertical, podem ser utilizados quatro ou seis jatos.

Ao adicionar mais bicos injetores na turbina, a distribuição dos jatos deve ser equilibrada, então para dois jatos, deve-se seguir o ângulo de 180° entre eles, se forem 4, de 90° e assim sucessivamente. A figura a seguir mostra uma turbina Pelton de eixo vertical com 6 jatos.



Fonte: Usina hidrelétrica de Middle Fork, Califórnia, E.U.A.

Para se calcular o número ideal de jatos no projeto é utilizado a seguinte equação:

$$a = \frac{n\sqrt{N}}{25H} \quad [4]$$

Onde:

- n = rotação [rpm]

- N = potência [cv]
- H = altura de queda [m]

Novamente deve ser considerado que o valor ideal teórico pode não ser o mesmo do ideal para o projeto visto que o custo aumenta consideravelmente junto com a complexidade de montagem de um aparato como este.

De acordo com o Manual de Minicentrals Hidrelétricas a velocidade de rotação pode ser encontrada por duas maneiras:

$$n = \frac{37,3\sqrt{H_L}}{12d_0} \quad [5]$$

Onde estabelece uma relação entre queda líquida (H_L) e o diâmetro do jato (d_0) de maneira que podemos já inferir que com diâmetros menores, ou seja, maior número de jatos a velocidade é superior, da mesma maneira, podemos inferir o mesmo princípio na próxima equação relacionando a vazão (Q) e o número de jatos (a).

$$n = \frac{H_L^{0,75}\sqrt{a}}{Q} \quad [6]$$

2.4 Tubulação

A tubulação constituída na estrutura atual conecta apenas a tomada d'água à turbina com um diâmetro contínuo ao longo de todo o seu comprimento. De acordo com o Manual de Minicentrals Hidrelétricas, diâmetro econômico é denominado como um dos componentes que devem ser analisados ao se escolher o diâmetro de uma tubulação.

O diâmetro econômico é aquele que leva em consideração a melhor relação custo benefício. Este benefício significa o valor da energia produzida pelo tempo de operação ao longo de sua vida útil e o custo simboliza a soma dos gastos materiais, montagem, manutenção, juros e amortização ao longo dos anos.

Dessa maneira, o melhor diâmetro para o projeto é aquele que se acrescido de custo para um aumento de dimensão resultar em uma diminuição de perdas de carga e conseqüentemente resultar numa potência instalada maior, seu custo se justifica pelo benefício.

A seguinte equação foi simplificada para resumir este conceito utilizando a fórmula de Bondschu:

$$D_e = 1277 \sqrt{\frac{Q^3}{H_t}} \quad [7]$$

$$H_t = H + h_s \quad [8]$$

Onde:

- D_e é o diâmetro econômico, em cm
- Q é a vazão ou descarga máxima na tubulação, em m³/s
- H_t é a carga hidráulica total sobre a tubulação, em m
- H é a queda bruta
- h_s é a sobrepressão hidráulica

2.5 Volantes de Inércia

O volante de inércia é um componente essencial em unidades geradoras de pequena capacidade quando o regulador de velocidade não consegue atender às variações de carga, dadas certas condições de regulação. Conforme apontado pelo Ministério das Minas e Energia (1985, p. 362), este dispositivo se torna necessário para suprir essa limitação.

Em unidades geradoras com capacidades menores, é comum que o momento de inércia das massas girantes não seja suficiente para garantir uma regulação estável. Segundo Souza, Santos e Bortoni (1999), o regulador não consegue lidar com variações de carga dentro de determinadas condições de regulação, considerando apenas o momento de inércia do gerador e da turbina. Nesses casos, o uso de volantes de inércia, geralmente instalados na extensão do eixo gerador, se torna necessário para aprimorar a capacidade de regulação.

2.6 Tomada d'água

A captação do reservatório que direciona a água para a tubulação é denominada tomada d'água. Essa pode ser conectada diretamente à tubulação forçada ou descarregar a água em outro canal aberto para em seguida ser levado à tubulação. As funções principais são, permitir o ressecamento da tubulação para realização de manutenção na estrutura e prevenir a entrada de corpos indesejáveis na tubulação que atrapalham ou causam danos a turbina ou estrutura de tubulação.

As dimensões da tomada d'água devem ser definidas de forma que a velocidade na entrada da tubulação não ultrapasse 1 m/s, ou seja, a área da boca da tomada deve seguir a equação básica da relação de área com vazão. Para isso é necessário ter como dado o valor de vazão.

Na situação atual, será feito o comparativo se essa estrutura se adequa a essa diretriz ou se precisa passar por uma reformulação.

Dispositivos de proteção devem ser colocados na boca da tomada criando uma seção de baixa velocidade do fluido onde resíduos possam ser depositados. Este dispositivo pode ser uma grade ou rede que consiga segurar sedimentos inadequados e corpos flutuantes que possam aparecer no reservatório. A estrutura que impede sedimentos no duto forçado e evita possíveis efeitos de abrasão é denominado desarenador.

O desarenador deve ser limpo regularmente à medida que for peneirando detritos que causam dificuldade na passagem do escoamento adequado.

2.7 Golpe de Aríete

A tubulação forçada que é responsável por conduzir o escoamento até a turbina sofre forças ao longo de todos os seus pontos como forma de pressão, da água contra a “parede” da tubulação. Quando uma descarga muito grande no sistema ocorre, uma resposta de sistemas mais complexos é de fechar as comportas das turbinas e acarretar em um aumento súbito de pressão ao longo da tubulação, este aumento é denominado Golpe de Aríete, algo que deve ser evitado a qualquer custo e projetado maneiras de se amenizar essa diferença drástica de pressão.

Este perigo ocorre quando se tem uma automação das comportas da turbina de acordo com a carga do sistema. Uma realidade que não se confirma na situação atual da pousada visto que sua comporta é manual, estando sempre aberta para comportar a carga máxima do sistema, no entanto, o problema existente é a falta de estabilidade de velocidade da turbina visto que esta varia à medida que a carga do sistema varia.

Entretanto caso o sistema fosse autônomo, uma solução para minicentraís é da Chaminé de Equilíbrio, um sistema que funciona como um escape para a água num eventual corte do escoamento de maneira similar a uma chaminé na tubulação. Deve ser localizada próximo a saída da tubulação e, de acordo com o manual deve ser construída com aço ou concreto similares a tubulação, porém por se tratar de um projeto em menor escala e com tubulação de PVC, deve ser tomada medidas de ajustes para associar ao estado atual da estrutura.

2.8 Geradores

O gerador desempenha um papel fundamental na conversão da energia mecânica, proveniente da turbina, em energia elétrica pronta para ser transmitida pela rede de distribuição.

Nos geradores síncronos, uma corrente elétrica é aplicada aos enrolamentos do rotor, resultando na geração de um campo magnético no rotor. Este campo magnético rotativo é produzido ao girar o rotor do gerador por meio de um motor primário, induzindo, por sua vez, uma tensão trifásica nos enrolamentos do estator do gerador. Conforme Chapman (2005) destaca, 'esse campo magnético rotativo induz a presença das três fases de tensão nos enrolamentos do estator do gerador'.

Geradores Síncronos são por definição síncronos, o que significa que a frequência elétrica produzida está sincronizada com a taxa mecânica de rotação do gerador. O rotor de um gerador síncrono é um eletroímã que recebe corrente direta, fazendo com que o campo magnético do rotor se alinhe com o sentido de rotação do rotor. A relação entre a taxa de rotação dos campos magnéticos na máquina e a frequência elétrica do estator é expressa pela Equação 8.

$$f_e = \frac{n_m P}{120} \quad [10]$$

Onde:

f_e = frequência, em Hz

n_m = velocidade de rotação da máquina em rpm

P = número dos pólo

De acordo com Pedroso (1982, p. 171), os geradores utilizados em centrais hidrelétricas são conhecidos como hidrogeradores e consistem em máquinas elétricas síncronas que são acionadas diretamente ou indiretamente pelas turbinas hidráulicas. Estes geradores têm a função de converter a energia mecânica gerada pelas turbinas hidráulicas em energia elétrica.

Conforme destacado por Viejo (1977), geralmente, todas as máquinas impulsionadas por turbinas hidráulicas são geradores síncronos. Estes são máquinas de corrente alternada excitadas por um rotor de corrente contínua. Nessas máquinas, existe uma relação constante entre a frequência da corrente alternada produzida e o número de rotações por minuto da máquina.

2.9 Regulador de Velocidade

Para garantir a operação segura dos equipamentos elétricos conectados à rede, é essencial que a velocidade de rotação da turbina e do gerador, sendo síncronos, permaneça constante. Nesse contexto, o regulador de velocidade assume um papel crítico, assegurando que o Grupo Gerador (GG) mantenha uma 'rotação constante para preservar a frequência da tensão gerada em seu valor nominal'. Este dispositivo atua controlando a vazão da Turbina Hidráulica (TH) (Souza; Santos; Bortoni, 1999, p. 330) e gerenciando a potência ativa, especialmente quando o GG opera em paralelo com a rede elétrica ou outras máquinas."

"Os reguladores automáticos de velocidade frequentemente adotados em microcentrais hidrelétricas são tipicamente do tipo mecânico, constituídos por um servomecanismo acionado por óleo pressurizado e comandados por um pêndulo centrífugo (Eletrobras, 1985b). Estes reguladores desempenham a função de operar o sistema diretor da turbina, ajustando a vazão para manter a rotação de trabalho, seja aumentando-a quando há um aumento na demanda ou reduzindo-a quando há uma diminuição. Este controle é realizado por meio da haste do pistão diferencial do circuito hidráulico do regulador, acionado por um pêndulo centrífugo sensível às variações de rotação (Guimarães, 1983).

De acordo com Souza, Santos e Bordonni (1999), existem dois tipos principais de Reguladores de Velocidade (RV): o RV isócrono e o RV com estatismo permanente. A seleção entre esses tipos de RV é determinada pelo modo de operação específico relacionado à mini ou microcentral hidrelétrica. No contexto de operação isolada, o RV isócrono é empregado de forma consistente. Conforme Souza, Fuchs e Santos (1983), os reguladores de velocidade isócronos são projetados para manter a velocidade constante, independentemente das variações na carga.

2.10 Potência

Tendo em vista o alcance de energia, é possível uma estimativa inicial como base para a sugestão de soluções. Para determinar a potência teórica de uma usina hidrelétrica o cálculo é o mesmo, independente do seu tamanho. A fórmula é:

$$P = \rho g H Q \eta \quad [11]$$

Onde:

- ρ é a massa específica do fluido: a água corresponde a 1000 kg/m^3 ;
- g é a aceleração da gravidade correspondente a $9,81 \text{ m/s}^2$;
- H é a altura de desnível ou de queda d'água;
- Q é a vazão disponível em m^3/s ;
- η é o rendimento total do conjunto

Após feitas as medições, este cálculo será realizado para promover maior proximidade dos valores reais. E, a partir disso, determinar uma eficiência para a turbina atual e um valor teórico da capacidade de geração possivelmente alcançada.

Contudo, é importante ressaltar que as perdas na tubulação ainda não foram consideradas no valor determinado.

2.11 Evolução das Micro Centrais Hidrelétricas (MCHs)

A instalação da primeira usina hidrelétrica no Brasil, em Diamantina, Minas Gerais, em 1889, conhecida como Usina de Marmelos, marcou o início da geração de energia elétrica no país. Seu propósito inicial era abastecer a iluminação da cidade e uma fábrica têxtil, sem, contudo, ter a intenção de fornecer energia em larga escala.

Conforme a demanda energética crescia, surgiu a necessidade de construção de usinas de maior porte para suprir diversas cidades. A emblemática Usina de Itaipu, cuja construção iniciou-se em 1974 e foi concluída em 1984, localizada no rio Paraná, entre Brasil e Paraguai, foi um marco nesse sentido. No final de sua construção, atingiu uma capacidade de 14 mil MW ou 14 GW de potência, praticamente dobrando a capacidade geradora do Brasil da época, que era de 16,4 GW como está descrito no site institucional de Itaipu Binacional (Itaipu Binacional, 2023).

Posteriormente, outras grandes usinas, como a Usina de Tucuruí, também foram construídas. No entanto, o impacto ambiental das áreas alagadas por essas usinas despertou preocupações entre ambientalistas, o que impulsionou a necessidade de redução do tamanho dos reservatórios.

Este contexto levou ao surgimento das Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e, posteriormente, das MCHs. As PCHs começaram a ocupar um espaço significativo na matriz elétrica do Brasil, despertando o interesse de pequenos empresários em construir suas próprias usinas de porte reduzido, conforme citado em GONÇALVES, R. S. Energia Elétrica no Brasil: Aspectos Históricos e Tendências Recentes. São Paulo: Editora Atlas, 2018 (Gonçalves, 2018).

Com o avanço tecnológico e a diversificação de recursos, a Eletrobras estabeleceu a classificação de MCHs, representadas na Tabela 1, simplificando os processos burocráticos em comparação com as PCHs ou grandes hidrelétricas. As MCHs ganharam popularidade em todo o país devido à sua menor escala e contribuição para a matriz energética nacional.

Este desenvolvimento reflete a preocupação com os impactos ambientais e sociais das grandes hidrelétricas, estimulando a busca por alternativas de geração de energia com menor impacto e maior adaptabilidade ao ambiente, como é o caso das MCHs.

2.12 Sistemas Isolados e Microgeração

Um sistema isolado refere-se a uma área desprovida de conexão à rede elétrica principal fornecida por uma Distribuidora de Energia. A obtenção de energia nesses locais se dá por meio de soluções alternativas, como energias renováveis presentes no ambiente local, geradores autônomos ou baterias, que são usadas como fontes alternativas de fornecimento energético.

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), “denomina-se Sistema Isolado o sistema elétrico, que em sua configuração normal, não esteja conectado ao Sistema Interligado Nacional – SIN.”

A EPE é responsável pela avaliação técnica das propostas de planejamento do atendimento aos Sistemas Isolados, apresentada pelos Agentes de Distribuição conforme discorrido na Resolução Normativa ANEEL nº 1.000 de 2021, onde define as condições fundamentais para a prestação do serviço de energia elétrica em sistemas isolados.

Este regulamento estabelece regras, responsabilidades e diretrizes para garantir a eficiência, qualidade e segurança no fornecimento de energia em áreas desconectadas da rede elétrica principal. A normativa detalha aspectos técnicos, operacionais e regulatórios específicos para sistemas isolados, com o intuito de oferecer orientações para as concessionárias e assegurar um serviço adequado aos consumidores dessas localidades.

No entanto, a relevância das micro e minicentrals hidrelétricas é destacada na oferta de oportunidades para investimentos acessíveis à iniciativa privada, produtores independentes, autoprodutores e concessionários menores (Leite, 1997). Neste contexto, o sistema isolado em foco não busca a conexão com a rede principal devido aos altos custos envolvidos. Em vez disso, a opção foi por investir em uma micro central hidrelétrica, aproveitando os benefícios da geração própria de energia, especialmente considerando a abundância de cachoeiras na região, o que oferece um potencial significativo para a produção hidrelétrica.

2.13 Desafios e oportunidades na construção

O artigo "Construção e Avaliação de Uma Turbina Tipo Pelton", de Luís Carlos Timm, da Universidade de São Paulo, trata da análise de dados referentes à potência mecânica e rendimento, através de análises de regressões, foram obtidos coeficientes de determinação elevados, permitindo uma interpretação estatística dos dados (Timm, 2003).

Nas análises realizadas, foram identificados os valores máximos de torque (15,68 N m) e potência mecânica (52,81 W), obtidos em decorrência da maior vazão medida durante o ensaio ($8,70 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$). O valor máximo de rendimento alcançado foi de 46,08% para uma rotação de 537,30 rpm, associado a uma carga hidráulica de 14 mca (vazão de $7,70 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$). Contrariando previsões baseadas em estudos anteriores, não se verificou um aumento proporcional do rendimento com o aumento da pressão.

As melhorias de desempenho das turbinas, segundo as análises apresentadas no artigo, estão focadas em ajustes no injetor da turbina e no uso de materiais variados para as pás, eixo e rolamentos. A construção da turbina "Pelton" atingiu seus objetivos didáticos com o emprego de materiais de custo acessível, permitindo a avaliação de parâmetros essenciais do equipamento, como torque, potência mecânica e rendimento.

Embora tenha sido alcançado um rendimento satisfatório (46,08%) nas condições experimentais, sugere-se que, para aprimorar o protótipo, estudos adicionais sejam considerados.

O estudo determina uma eficiência de 46% como satisfatória, dadas as condições experimentais, no entanto, ao considerar as possibilidades de otimização de projeto e as condições de operação em escala industrial ou comercial, é plausível esperar que turbinas Pelton em estruturas de maior porte atinjam eficiências superiores às registradas em testes laboratoriais.

2.14 Legislação e Regulação

A crescente demanda por uma geração mais sustentável levou à busca por formas mais eficientes de produção de energia, especialmente em PCHs, o que demandou uma regulamentação adequada. Essa necessidade pressionou a ANEEL a estabelecer critérios para definir o que pode ser considerado uma PCH, considerando a variação de tamanho que uma unidade geradora pode abranger.

A Resolução Normativa nº 394, datada de 4 de dezembro de 1998, foi um marco nesse sentido, estabelecendo que empreendimentos hidrelétricos com potência superior a 1.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW, com área total de reservatório igual ou inferior a 3,0 km², seriam

considerados como aproveitamentos com características de PCHs. Este marco propiciou um maior espaço para as PCHs na matriz elétrica brasileira, uma vez que seu processo de taxaço tornou-se menos oneroso e, conseqüentemente, seu custo, mais acessível.

Entretanto, somente em 17 de abril de 2012, a ANEEL estabeleceu a classificação de microgeração distribuída com a Resolução Normativa de nº 482. A necessidade surgiu diante do aumento da demanda por geração distribuída, impulsionada principalmente pela adesão aos painéis solares fotovoltaicos. Vale destacar que unidades geradoras de diversas fontes se enquadram neste conceito. Contudo, é essencial salientar que, para ser considerado 'distribuída', o sistema deve estar integrado à rede, uma condição que não se aplica ao empreendimento em questão.

Apesar da ANEEL estabelecer diversas diretrizes e normas referentes a geração distribuídas, sua classificação de centrais geradoras fica restrita a este aspecto. Ponto que a Eletrobras em parceria com a DANFE exibe melhor a classificação de mini e MCHs sem a necessidade de ser caracterizado como geração distribuída.

Eletrobras e DNAEE, 1985, considera-se como MCH toda unidade geradora com potência inferior a 100 quilowatts (kW), conforme citado na introdução, demonstrado na tabela 1.

2.15 Estudos e Pesquisas anteriores

A instalação de uma MCH na Fazenda Madeira, São José do Rio Claro – MT, destaca-se como uma alternativa fundamental para atender às demandas energéticas de regiões isoladas. Este investimento, evidenciado no estudo “Avaliação da Viabilidade de Implantação de Uma Microcentral Hidrelétrica, Para Atender Consumidores Localizados Em Regiões Isoladas” de Gilberto Manoel Alves, aponta as microcentrais como promotoras do desenvolvimento tecnológico e soluções sustentáveis para suprir necessidades energéticas locais (Alves, 2007).

A viabilidade do projeto, ressaltada no estudo, demonstra o retorno financeiro do investimento em um prazo de 50 meses, adicionando valor à fazenda. Ao longo da vida útil da microcentral, os custos de geração se limitarão à manutenção, atendendo às necessidades e benefícios do investimento. Além disso, a microcentral, representada pela turbina Hélice como a opção mais eficiente, proporcionará 30% da capacidade total, adaptando-se às condições hidroenergéticas locais e um total de 18 kW de potência máxima fornecida.

A iniciativa de instalar a microcentral foi motivada pelo reconhecimento do potencial hidroenergético existente na região, suprimindo as demandas da fazenda e expandindo as possibilidades de produção e conservação de alimentos, vacinas e medicamentos para o gado. Este

empreendimento também favorecerá a geração de novos empregos, contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico das comunidades rurais.

Este estudo corrobora a importância das micro e minicentrals hidrelétricas na abertura de oportunidades de investimento para produtores independentes, concessionários menores e iniciativas privadas, conforme destacado por Leite (1997). A análise realizada revela que fabricantes nacionais estão capacitados para fornecer equipamentos elétricos e hidromecânicos para microcentrais hidrelétricas, oferecendo soluções adequadas para as demandas específicas deste tipo de central.

Em suma, a implantação de microcentrais hidrelétricas em sistemas isolados apresenta-se como uma solução estratégica para atender à demanda energética local, promover o desenvolvimento sustentável, impulsionar a economia regional e melhorar a qualidade de vida das comunidades rurais. Esta iniciativa alinha-se aos princípios de eficiência, sustentabilidade e desenvolvimento tecnológico, oferecendo um modelo viável para a produção de energia nessas regiões.

Conforme o artigo "Estudo de Turbina para Implantação em uma Central Hidrelétrica" de Guilherme Pawlak Munhoz e Thiago Marques, apresenta-se um estudo detalhado sobre a viabilidade da implantação das principais turbinas existentes para uma central hidrelétrica a ser ativada no Rio Rancharia (Munhoz; Marques, 2015). Os autores levantaram dados relativos à possibilidade da implantação das turbinas Pelton, Francis, Kaplan e Banki, além dos principais fatores que determinam a escolha da turbina ideal, como queda bruta e vazão. Os cálculos realizados permitiram verificar a potência entregue por cada uma das turbinas, considerando diferentes valores de vazão de projeto. Este estudo evidenciou a aplicabilidade das diferentes turbinas diante das condições específicas da Usina do Rio Rancharia, possibilitando avaliar rendimentos, potências e viabilidade econômica para cada modelo de turbina.

Os resultados mostraram que, independentemente da vazão de projeto escolhida (0,191 m³/s, 0,1139 m³/s ou 0,100m³/s), as turbinas Francis e Kaplan entregaram a maior potência em seus eixos. No entanto, após considerar critérios como custo, facilidade de manutenção e disponibilidade de peças, concluiu-se que a turbina Banki ou a turbina Francis seriam mais adequadas para a usina do Rio Rancharia.

O estudo indicou que, mesmo com dados de vazão e queda do Rio Rancharia, as turbinas da usina forneceriam uma potência entre 2,12 kW e 16,78 kW, operando individualmente. No entanto, os baixos valores de potência fornecida pelas turbinas indicam que a revitalização da Usina do Rio

Rancharia pode não ser economicamente viável. Os custos de implementação seriam altos em relação à potencial economia na conta de luz, o que torna o investimento questionável.

No entanto, um estudo mais aprofundado de viabilidade poderia ser realizado no futuro, sugerindo uma área de pesquisa para trabalhos posteriores no campo. Este estudo demonstrou a possibilidade de aplicação das diferentes turbinas, fornecendo uma visão abrangente sobre os rendimentos e as potências que cada uma poderia fornecer no contexto da usina do Rio Rancharia.

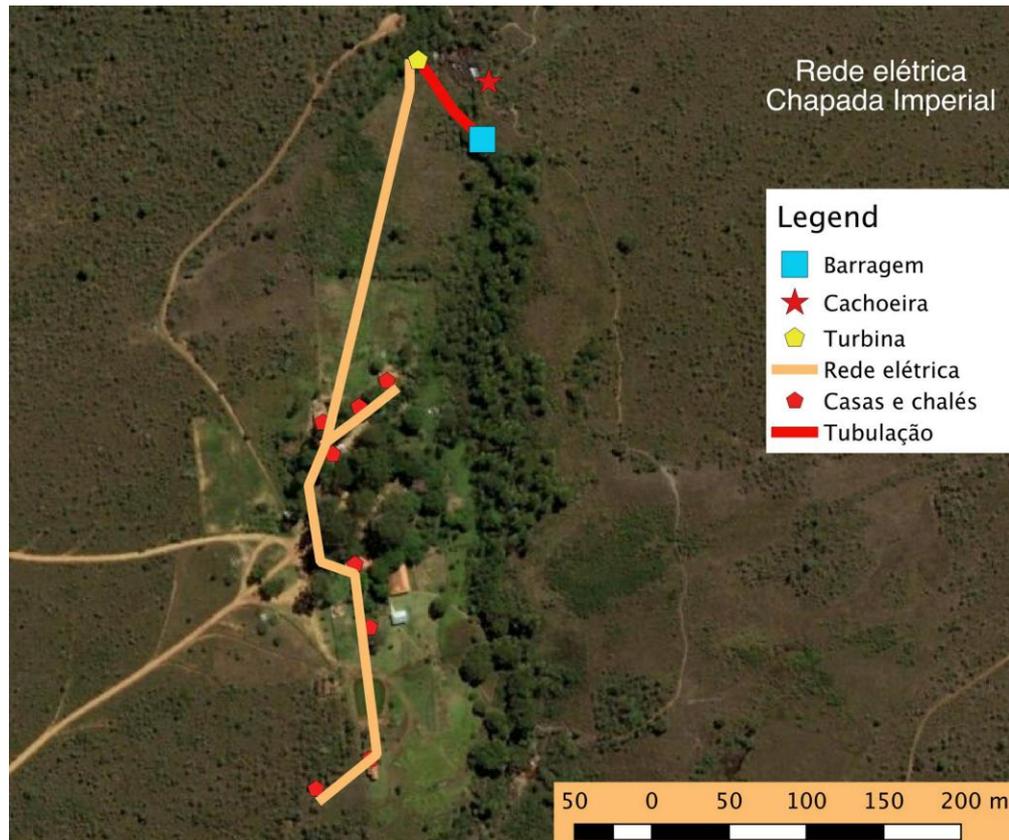
Este resumo aborda as principais conclusões do estudo, ressaltando a necessidade de uma análise mais detalhada sobre a viabilidade econômica da revitalização da Usina do Rio Rancharia, considerando os baixos valores de potência fornecida pelas turbinas.

3 Descrição da estrutura da Chapada Imperial

A condição atual da Chapada Imperial consiste em uma turbina Pelton da fabricante Alterima, está localizada a cerca de 200 metros do polo consumidor em uma casa de máquinas visualmente simples construída justamente para abrigar a turbina, o gerador e demais equipamentos elétricos. Dentro da casa, foi construído uma caixa de ferro onde a turbina opera para que a água corrente não atinja os equipamentos eletrônicos.

Na propriedade, um reservatório foi construído para aproveitar o potencial hídrico do local, uma tubulação deste reservatório foi montada para levar a água até a turbina localizada com uma diferença de altura de aproximadamente 20 metros. A jusante do reservatório se encontra à casa de máquinas com a turbina Pelton conforme figura 1.

Figura 7 - Mapa de distribuição da Chapada Imperial



Fonte: Els, 2018.

No quadro de energia havia um medidor de potência e tensão e ao fazer uma visita foi medido cerca de 2 kW de potência máxima. O bocal da tubulação não possui bico injetor e o controle da vazão é feito por uma alavanca manual na saída da tubulação. A tubulação possui 200 mm ou 8 polegadas de diâmetro e o potencial de queda d'água é de aproximadamente 20 m.

A demanda de energia consiste em geladeiras, freezers, lâmpadas e existe uma expectativa de aumento considerável de consumo. O sistema atual apresenta uma baixa estabilidade, ou seja, uma falta de controle da frequência produzida podendo causar danos aos equipamentos. A falta de estabilidade é perceptível, aproximando-se da turbina é possível ouvir a variação da velocidade dependendo da carga exigida. Pela falta de controle da vazão, a velocidade da turbina decresce à medida que a carga aumenta e dispara quando sofre uma queda abrupta, fazendo com que a frequência varia de aproximadamente 52 Hz a 65 Hz, considerado um comportamento inadequado e perigoso.

A estrutura atual passou por algumas melhorias ao longo dos anos. Um exemplo disso é a casa de máquinas construída para abrigar a caixa da turbina.

Previamente, o reservatório não possuía estrutura alguma em sua tomada d'água e não havia o desanador adequado para filtrar folhas ou até peixes que atravessavam a tubulação em direção a turbina, o que provocava perdas de eficiência significativas e problemas na tubulação. Contudo, hoje já está presente duas grades improvisadas para proteger de folhagens e animais de atravessarem, como pode ser visto nas imagens a seguir.

Figura 8 - Estrutura do reservatório atual



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

A primeira grade é mais antiga e não apresenta uma estrutura muito bem projetada. Foi altamente improvisada para resolver a primeira parte do problema.

Já a segunda grade faz parte da última mudança feita na estrutura, possuindo um sistema simples de alavancas capaz de retirar a grade para limpeza quando necessário.

Figura 9 - Primeira grade do reservatório



Fonte: Elaboração própria, 2023.

Figura 10 - Segunda grade presa a uma alavanca para retirada e limpeza



Fonte: Elaboração própria, 2023.

Ao lado da saída da tubulação, a barragem do reservatório ainda verte muita água. Principalmente no período da chuvas, entre os meses de dezembro a maio.

É relevante realçar a categoria da unidade geradora como fio d'água pois seu reservatório não possui a capacidade de armazenamento devido, apenas de condução do escoamento para a tomada d'água e a tubulação, gerando desperdício.

Uma vazão como essa permite um aumento de tubulação e aproveitamento sem causar maiores impactos ambientais, como foi observado pelo proprietário, que deseja dobrar a tubulação acreditando que resolva seu problema.

Figura 11 - Vazão excedente na barragem no período de cheia



Fonte: Elaboração própria, 2023.

A tubulação apresentava vazamentos ao longo de seu comprimento aumentando as perdas de carga da usina. Um desses exemplos pode ser visto na imagem a seguir, imediatamente na saída do reservatório. Um vazamento grande e constante em uma das junções entre os tubos.

Figura 12 - Tubulação entre o reservatório e a turbina com vazamentos apresentando vazamentos



Fonte: Elaboração própria, 2023.

Na casa de máquinas é possível ver a chegada da tubulação, a caixa protegendo a turbina, os rotores adicionais, os mancais conectados, o gerador e a caixa de energia e equipamentos inutilizados espalhados no chão.

Figura 13 - Tubulação no encontro com a casa de máquinas



Fonte: Elaboração própria, 2023.

Figura 14 - Caixa contendo a turbina e chegada da tubulação



Fonte: Elaboração própria, 2023.

Figura 15 - Quadro de energia presente na casa de máquinas



Fonte: Elaboração própria, 2023.

Saindo da casa de máquinas é possível ver a fiação que leva a energia até o ponto de consumo e em seguida a linha de distribuição em postes improvisados para maior segurança. A fiação ao chegar no próximo quadro de energia é aterrada para a distribuição mais segura dentro dos chalés e demais ambientes.

Figura 16 - Saída do cabeamento da casa de máquinas



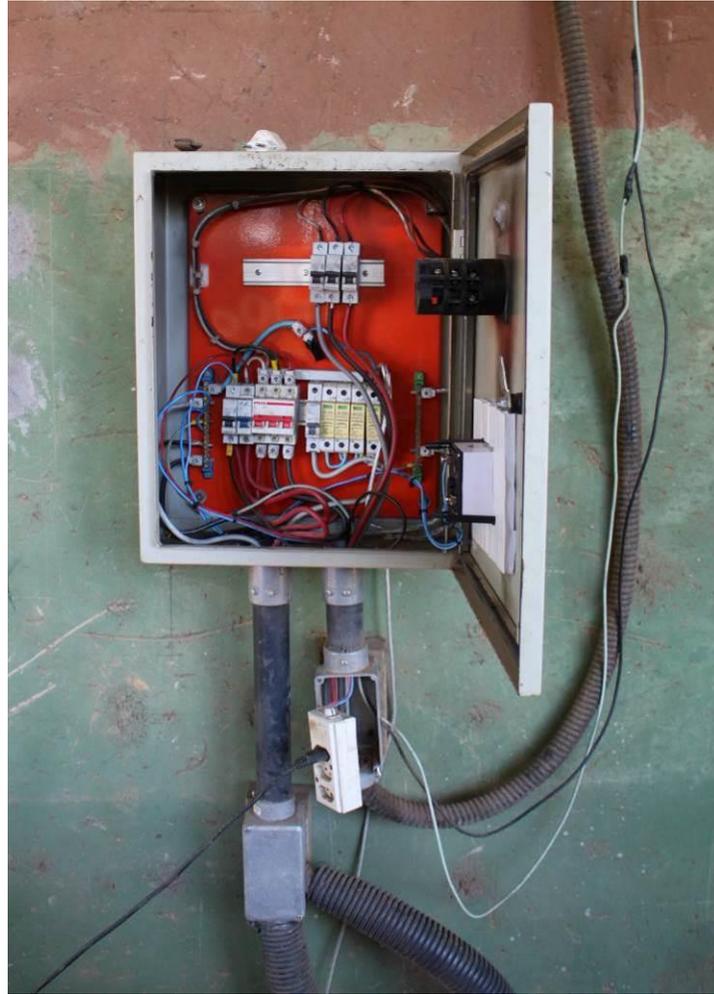
Fonte: Elaboração própria, 2023.

Figura 17 - Cabeamento erguido por postes de madeira com ponto para para-raios



Fonte: Elaboração própria, 2023.

Figura 18 - Quadro de energia de recebimento, localizado na casa de um dos caseiros



Fonte: Elaboração própria, 2023.

O quadro ainda apresenta um voltímetro estabilizado em 220 volts no lado de fora para facilitar a vistoria.

A estrutura se demonstra simples em vários pontos sugerindo um baixo custo operacional assim como um improvisado de aspectos da construção.

4 Metodologia

No estudo, foram empregados métodos específicos para a medição de energia e vazão. A medição da energia foi realizada por meio de um medidor de qualidade, enquanto a vazão foi determinada utilizando o método gravimétrico. As medições foram conduzidas com a colaboração dos funcionários da Chapada Imperial, além da participação ativa do proprietário. A seleção dos equipamentos utilizados considerou as condições locais e a disponibilidade de recursos.

4.1 Coleta de dados

4.1.1 Vazão

Na etapa de medição de vazão, foi escolhido o método gravimétrico devido à falta de infraestrutura para métodos mais complexos e às dificuldades de acesso em alguns locais. Uma consideração fundamental foi garantir que a medição não interferisse na operação da turbina, sendo realizada após a mesma.

Para conduzir essa etapa, foi selecionado um recipiente de 20 litros, levando em consideração as condições do local e o tamanho da turbina. A coleta do líquido contou com a colaboração do proprietário da Chapada Imperial e dois funcionários. O tempo de enchimento do balde foi cronometrado por turnos entre quem enchia e quem cronometrava, foram realizadas cerca de 80 medições em um único dia. Os dados coletados estão demonstrados a baixo:

Tabela 2 - Medições de tempo [s] para enchimento de recipiente de 20 litros

| Tempo coletado [s] | | | | | | | |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1,13 | 1,53 | 1,96 | 1,48 | 1,67 | 1,62 | 1,51 | 1,48 |
| 1,44 | 1,29 | 1,39 | 1,75 | 1,55 | 1,52 | 1,43 | 1,57 |
| 1,51 | 1,45 | 1,57 | 1,58 | 1,78 | 1,41 | 1,42 | 1,78 |
| 1,19 | 1,42 | 1,56 | 1,26 | 1,57 | 1,43 | 1,52 | 1,72 |
| 1,62 | 1,12 | 1,66 | 1,49 | 1,5 | 1,19 | 1,63 | 1,43 |
| 1,60 | 1,27 | 1,36 | 1,49 | 1,65 | 1,35 | 1,50 | 1,65 |
| 1,70 | 1,44 | 1,45 | 1,53 | 1,6 | 1,53 | 1,59 | 1,60 |
| 1,72 | 1,61 | 1,38 | 1,6 | 1,56 | 1,33 | 1,63 | 1,47 |
| 1,66 | 1,58 | 1,48 | 1,59 | 1,59 | 1,66 | 1,50 | 1,62 |
| 1,60 | 1,50 | 1,46 | 1,29 | 1,73 | 1,73 | 1,59 | |

Fonte: Elaboração própria, 2023.

A vazão foi medida encaixando-o após a saída da água, de maneira que a água recolhida corresponde diretamente a água que entra em contato com a turbina.

De início, foi percebido que a água espalhada na saída da tubulação dificultava o processo de medição e captura da água para dentro do recipiente escolhido. Para que o recolhimento de água fosse apropriado, foi colocado uma tábua de madeira na saída da turbina para que todo o fluido escoasse para a saída inferior próxima ao recipiente de maneira a diminuir o spray causado pela alta rotação da turbina.

Para as medições, procedeu-se à abertura completa da tubulação, permitindo o máximo fluxo de água. Realizaram-se testes com a turbina tanto conectada à rede como desconectada, visando compreender possíveis variações nos valores.

Observou-se que a diferença notável se restringiu à velocidade de saída da água: esta foi mais alta quando a turbina estava desconectada, porém, isso dificultou a medição devido ao aumento do spray na saída, criando uma barreira para as medições.

Por fim, notou-se uma pequena variação no tempo necessário para preencher o balde quando a rede estava desligada.

Posteriormente, a vazão foi calculada usando a média dos tempos registrados. A média destes tempos resultou em 1,52 segundos, correspondendo a uma vazão de 13,13 litros por segundo. Ao converter este valor para metros cúbicos por segundo (m^3/s), obteve-se $0,01313 m^3/s$.

Contudo os valores coletados apresentaram uma taxa de erro de 21,7% do maior valor para o menor. Este valor pode ser caracterizado como erro de reação humana com o uso do cronometro como de variação de reflexos de cada um. Estes valores podem ser vistos na tabela abaixo.

Tabela 3 - Média dos tempos medidos do preenchimento do recipiente de 20 litros

| | |
|--------------|----------------------|
| Média | Taxa de erro |
| 1,52 | -26,5% |
| Maior | 16,9% |
| 1,78 | |
| Menor | Média de erro |
| 1,12 | 21,7% |

Fonte: Elaboração própria, 2023.

Para tal é necessário considerar essa margem de erro dentro do cálculo de vazão.

Resultando na tabela de valores de vazão abaixo:

Tabela 4 - Média dos valores de Vazão a partir do recipiente de 20 litros

| Valores de Vazão | |
|-------------------------|------------------|
| Média | (1,52) |
| 13,13 | l/s |
| Maior | (+ 21,7%) |
| 15,98 | l/s |
| Menor | (- 21,7%) |
| 10,29 | l/s |

Fonte: Elaboração própria, 2023.

Visto que a margem de erro apresentava uma variação muito grande após a primeira medição realizada, o processo foi repetido utilizando um recipiente de maior capacidade, 100 litros, visando maior precisão nos resultados. Foi constatado um tempo de preenchimento de 7,5 segundos, correspondendo a uma vazão de 13,3 l/s, valor que se aproximou significativamente da média identificada com o recipiente de 20 litros.

Contudo esse método de medição não possui uma precisão alta sendo necessário considerar uma margem significativa de tolerância dentro dos valores recolhidos. Esse valor pode ser considerado como 30% de margem de erro dadas as condições dos recipientes de volumes possivelmente imprecisos e condições de reação ao identificar o preenchimento do recipiente.

Ao longo da pesquisa foi realizada várias visitas técnicas demonstrando desafios não esperados inicialmente. A medição de vazão apresentava uma dificuldade de se medir através da medição gravimétrica pois o spray da vazão em sua operação normal é muito espalhado e demonstra dificuldades de medição.

Para a solução desse problema foi necessária uma coleta de materiais disponíveis para afunilar a saída da água. Essa tarefa foi realizada inserindo duas tábuas em sua estrutura de maneira que a primeira, acima dela, fosse inserida para limitar o spray mais alto, e a inferior para canalizar a água ao recipiente em questão, conforme pode ser visualizado na imagem abaixo:

Figura 19 - Saída da tubulação para melhor canalização de água



Fonte: Elaboração própria, 2023.

4.1.1.1 Vazamento

Ao longo da extensão da tubulação, empregou-se um recipiente de 12 litros para medir o vazamento identificado na junção de dois tubos da estrutura e que pode ser visto na figura (Pereira *et al.*, 2019).

Este recipiente foi preenchido em 30,7 segundos, resultando em uma vazão de apenas 390,8 ml/s. Este número representa 3% do volume total identificado ao final da tubulação, não sendo relevante para o projeto em questão.

4.1.2 Carga

A carga do sistema foi realizada em duas etapas. A primeira foi realizada através de um levantamento de equipamentos conectados à rede durante seu funcionamento. A segunda consistiu em uma medição com amperímetro e voltímetro controlando os equipamentos ligados no sistema e levando-o a um teste de estresse.

4.1.2.1 Levantamento de perfil de carga

Existem equipamentos que permanecem conectados à rede durante todo o tempo, dia e noite. As variações mais significativas são caracterizadas pelo almoço e jantar, com o uso do liquidificador (900 W) e o espremedor de laranja (220 W). Dadas essas condições de funcionamento, pode ser considerado que este levantamento desempenhe um valor muito próximo da realidade.

Os valores encontrados foram:

Tabela 5 - Equipamentos em uso no sistema

| Equipamento | Potência |
|-----------------------|-----------------|
| Refrigerador | 200 |
| Geladeira | 120 |
| Congelador | 260 |
| Freezer | 242 |
| Liquidificador | 900 |
| Espremedor de laranja | 220 |
| Lâmpadas | 392 |

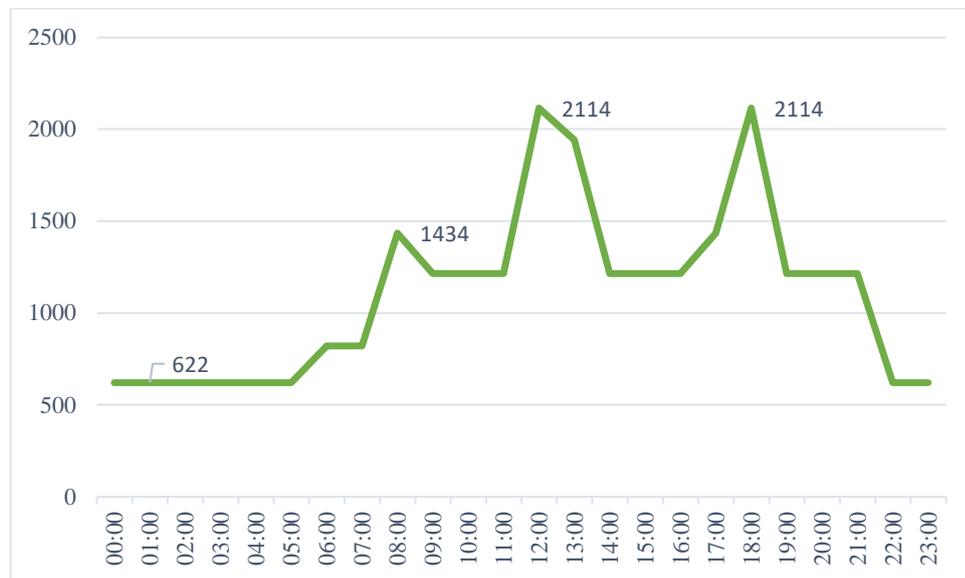
Fonte: Elaboração própria, 2023.

Os equipamentos listados na tabela não estão operacionais simultaneamente. O liquidificador e o espremedor de laranja são utilizados apenas quando necessário, e sempre em uso

alternado, resultando em um consumo constante da rede elétrica de 0,6 kWh, capacidade prontamente fornecida pela turbina em operação.

Foi gerada uma curva com o perfil de carga para cada hora correspondente ao uso da rede como pode ser visualizado abaixo, demonstrando uma expectativa do comportamento da rede:

Gráfico 1 - Curva de Perfil de Carga atual [W]



Fonte: Elaboração própria, 2023.

Descrição do uso da rede:

23:00 – 05:00 – O uso da rede de madrugada permanece constante sem nenhuma lâmpada ligada, apenas com geladeira, congelador e freezer ligados;

06:00 – 07:00 – O refrigerador de bebidas da lanchonete do estabelecimento é religada e só será desligada às 22:00;

08:00 – O uso de espremedor de laranja pode ocorrer para o preparo do café da manhã e todas as lâmpadas da chapada são ligadas e permanecem ligadas até às 22:00;

09:00 – 11:00 – São feitos os preparativos para o almoço utilizando o forno a lenha e não há uso de equipamentos da rede elétrica, a não ser os que já estão conectados

12:00 – 13:00 – Uso mais intenso do sistema onde é necessário utilizar o equipamento que mais exige energia, o liquidificador. Durante seu uso, não é possível usá-lo simultaneamente com o espremedor, visto que não há potência suficiente para abastecê-los.

14:00 – 16:00 – Não há variação relevante no uso da rede.

17:00 – 19:00 – Preparo de jantar para os turistas que se hospedaram no local e o uso da rede é semelhante ao almoço, contudo com menos demandas devido a quantidade reduzida de pessoas.

20:00 – 22:00 – O refrigerador é desligado junto com as lâmpadas e os turistas são guiados aos seus quartos para término do dia

Segundo informações fornecidas por um funcionário, ao utilizar o liquidificador, geralmente na hora do almoço (12:00 – 13:00) ocorrem falhas nas lâmpadas e uma perceptível queda de energia. Este momento pode ser considerado como o uso máximo de energia, atingindo 2,1 kW, representando o pico de potência alcançado pela turbina.

4.1.2.1 Medição (Teste de estresse)

Foi realizado após esse levantamento medições utilizando amperímetro e voltímetro durante um teste de estresse. Foram conectados e ligados dois equipamentos raramente utilizados pelos funcionários, uma esmerilhadeira e uma lixadeira, com potência de 1400 W e 1200 W respectivamente.

O voltímetro utilizado se localiza no próprio quadro elétrico para maior controle de sua voltagem ao longo do seu uso. Sua voltagem era estável, variando de 220 V a 230 V como pode ser visto na figura abaixo:

Figura 20 - Voltímetro do quadro elétrico



Fonte: Elaboração própria, 2023.

O voltímetro utilizado pode ser visto na figura abaixo durante uma das medições:

Figura 21 - Amperímetro Fluke 305



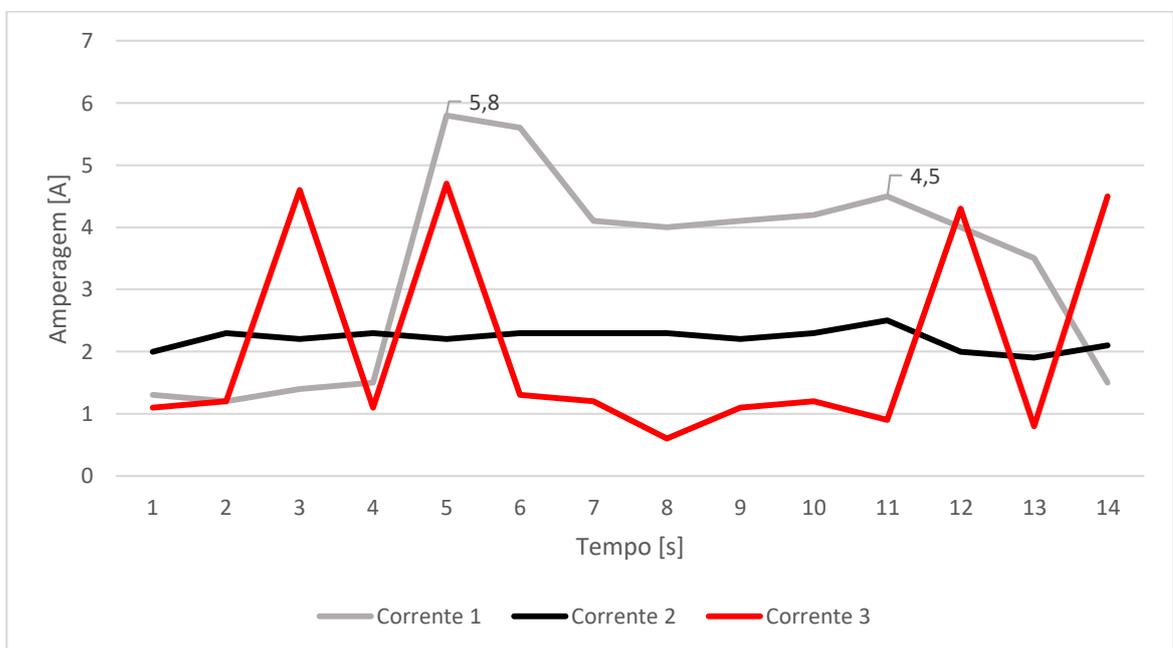
Fonte: Elaboração própria, 2023.

Durante o teste também foi solicitado às funcionárias da cozinha que fizessem o uso dos equipamentos que mais demandam energia, o liquidificador e espremedor de laranja.

Foi observado que a voltagem não sofre variações consideráveis.

Essa medição resultou no seguinte gráfico, onde as fases foram medidas simultaneamente:

Gráfico 2 - Gráfico de medições realizadas em teste de estresse



Fonte: Elaboração própria, 2023.

O gráfico 2 mostra as 3 fases do sistema seguindo a coloração de cabos já utilizados no quadro elétrico do local.

Pode ser visualizado um pico de corrente requerida no momento de 5 segundos, no instante de acionamento realizado com a esmerilhadeira, foi medido uma corrente de 5,8 ampères. A tensão permaneceu estável em 220 volts, valor que pode representar uma potência de 1,2 kW.

Essa corrente ocorre apenas no instante inicial do acionamento do equipamento, caindo para 4 ampères ao longo do uso.

O pico de energia medido (1,2 kW) será considerado como o momento de demanda máxima do sistema. Contudo o valor que deverá ser considerado para cálculo de eficiência será o valor de média do sistema. Esse valor demonstra uma representação mais fiel do uso da rede em questão.

Esse valor de potência média do sistema representado por fase e um contexto genérico está mostrada na tabela abaixo:

Tabela 6 - Média de Potência [W] no sistema

| P fase 1 | P fase 2 | P fase 3 |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|
| 760,8 | 503,4 | 463,0 |
| Potência média do sistema | | |
| 575,7 | | |

Fonte: Elaboração própria, 2023.

4.2 Viabilidade técnica

Considerando a vazão encontrada de 13,3 l/s a potência pode ser calculada utilizando a equação: [9]

$$P = \rho g H Q$$

$$P = 1000 * 9,81 * 20 * 0,0133$$

$$P = 2616 W$$

$$P = 2,616 kW$$

No entanto a medição gravimétrica utilizada não possui uma precisão alta e deve ser considerada uma tolerância nos resultados obtidos. Essa margem deve considerar a falta de precisão devido ao tempo de reação nos tempos cronometrados e a falta de precisão no volume dos recipientes.

Além da tolerância considerada de 21,7% na primeira medição, relacionada à taxa de reação medida, deverá ser considerada um aumento devido à falta de precisão dos volumes utilizados.

Nesse aspecto, a tolerância considerada é de 30% e os resultados obtidos podem variar de 1,8 kW a 3,4 kW de potência disponível na turbina.

Quando considerado o valor de potência máxima requerida do sistema, tem-se que o valor de eficiência varia de 35,2% a 65,5% a depender da potência disponível. Valor considerado dentro do esperado tendo em vista as medições realizadas e as condições das quais a turbina está inserida, uma altura considerada baixa assim como a vazão.

Entretanto é importante considerar que esse valor de 1,2 kW representa apenas o pico registrado, de modo que em seu comportamento cotidiano, o uso da rede demanda menos carga.

Nesse comportamento, pode-se concluir que tendo em vista a potência média do sistema de 575 Watts, essa eficiência é consideravelmente inferior, variando de 14,7% a 27,3%.

5 Resultados e Discussão

O método gravimétrico representa uma precisão baixa dos valores coletados e por isso, para um projeto de maior escala, deve ser considerado uma medição mais precisa da vazão em questão e capacidade da turbina de conversão de energia mecânica em elétrica.

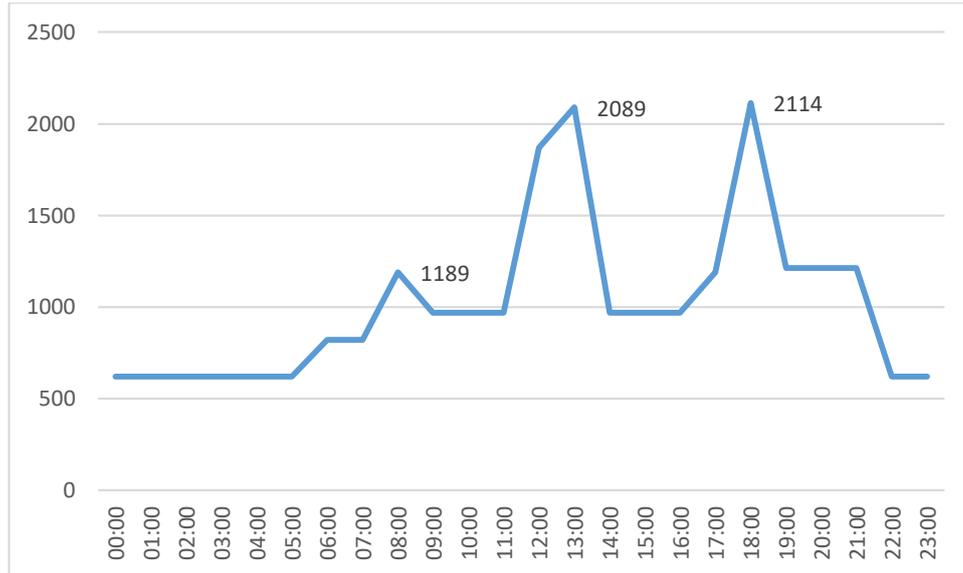
Contudo é possível afirmar que dentro da tolerância encontrada, o sistema deve passar por ajustes em sua eficiência de modo que se demonstre um sistema mais estável para receber mais carga.

Considerando o levantamento de perfil de carga, um simples ato de eficiência energética no uso da rede pode melhorar o aproveitamento da estrutura atual, principalmente nos horários de maior demanda.

Uma decisão tomada pelo proprietário é de manter as lâmpadas acesas durante o dia para consumir a energia gerada da turbina, que de acordo com ele, diminui a variação de velocidade, contudo se a maioria das lâmpadas forem apagadas durante o dia, geraria uma economia de 245 W de potência, suficiente para amenizar a demanda energética e possivelmente utilizar os equipamentos com um melhor desempenho suprindo a necessidade das cozinheiras no horário de almoço.

A proposta de perfil de carga pode ser resumida no gráfico abaixo (Gráfico 3):

Gráfico 3 - Curva de Perfil de carga proposto



Fonte: Elaboração própria, 2023.

O valor de 2089 W considera o cenário onde apenas as lâmpadas da cozinha estão ligadas e o uso do liquidificador e espremedor de laranja é simultâneo, percebe-se que mesmo com esse uso maior, haveria um alívio na demanda.

O valor de 2114 referente às 18:00 continua o mesmo, pois nesse horário já são necessárias que todas as lâmpadas estejam acesas e o uso dos equipamentos da cozinha permanecem.

6 Conclusão

Com base nas medições realizadas e nos estudos relacionados à eficiência do sistema Turbina/Gerador na pousada, foi estimado que a potência disponibilizada pela turbina hidrelétrica pode variar de 1,9 kW a 3,3 kW. Essa estimativa é equivalente com a geração medida na pousada, onde seu pico mostrou um valor de 1,2 kW, considerando a variação diária de uso. Este valor de potência disponibilizada foi calculado considerando uma eficiência do sistema atual de 35,2% a 65,5%.

Esta margem de variação de eficiência no sistema Turbina/Gerador se deve, especialmente às condições atuais da estrutura, a simplicidade do sistema, mas principalmente de que a utilização da turbina Pelton está num sistema de baixa altura. Este resultado se mostra satisfatório dentro do contexto em que a instalação hidrelétrica foi implementada, sem necessidade de uma vazão alta.

Para que seu sistema possua um melhor aproveitamento, é necessárias medidas que aumentarão a eficiência do conjunto Turbina/Gerador de maneira que sua rede possua maior estabilidade para que futuramente um aumento de vazão se torne viável.

Os estudos realizados são baseados em dados empíricos e análises de eficiência do sistema, forneceram informações valiosas para avaliar a capacidade de geração de energia na pousada. A análise detalhada dos dados permitiu estimar a potência disponibilizada pela turbina, corroborando com a medição atual de geração na instalação.

Apesar da complexidade de medição demonstrada devido a localidade da estrutura, foram feitas medições bem-sucedidas de vazão e conseguiu encontrar um valor coerente com o esperado. A análise de perfil de carga juntamente com a medição de potência, mostram-se suficientes para a avaliação do uso da rede, de maneira que foi possível estabelecer uma tolerância estimada da eficiência do sistema atual e concluir que é necessária uma reestruturação do local para aumento de vazão.

No contexto deste desafio, em ampliar a geração de energia, uma possibilidade que apresentamos é a instalação de uma saída adicional na tubulação existente, paralela à que está em funcionamento, no entanto, pode ser necessário o aumento do reservatório para acúmulo de água no período da seca. Essa estimativa corresponderia à dobra de vazão e dobra da disponibilidade energética. Sendo de fato necessária para o aumento desejado e suprir a demanda em caso de receber maior número de turistas.

7 Referências

- ALVES, G.M. **Avaliação da viabilidade de implantação de uma microcentral hidrelétrica, para atender consumidores localizados em regiões isoladas**. 2007. 175 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.
- BONIN, P.A.Z. **Estudo de viabilidade técnica de uma micro usina hidrelétrica na barragem da pequena central hidrelétrica PIPOCA**. 2016. 70 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Rede de Ensino Doctum, Instituto Tecnológico de Caratinga, Minas Gerais, 2016.
- BREDOW, E.W. **Turbina hélice**. Catálogo de equipamentos, Curitiba, 2007.
- CASTRO, V.M. et al. Estudo Técnico da Turbina Hidrelétrica da Chapada Imperial – DF. In: III Encontro de Ciência e Tecnologia, v. I, p. 117-124, 2011, Distrito Federal. **Anais [...]**. Distrito Federal: III Encontro de Ciência e Tecnologia, 2011.
- CEPA. Centro de Ensino e Pesquisa Aplicada Turbina hidráulica - IFUSP. Princípio de funcionamento de turbina hidráulica de Pelton de eixo vertical. **Centro de Ensino e Pesquisa Aplicada Turbina hidráulica**. Usina Hidrelétrica de Middle Fork, Califórnia, EUA, 1999. Disponível em: <http://www.cepa.if.usp.br/energia/energia1999/Grupo2B/Hidraulica/turbina3.htm>. Acesso em: 12 fev. 2023.
- CHAPADA IMPERIAL. A Chapada Imperial, 2023. Disponível em: <http://www.chapadaimperial.com.br/a-chapada-imperial/>. Acesso em 20 mar. 2023.
- CHAPMAN, S.J. **Electric Machinery fundamentals**. 4. ed. New York: Mc Graw Hill Higher Education, 2005. 267 p.
- DAKER, A. **Hidráulica aplicada a agricultura: a água na agricultura**. 6. ed. rev. ampl. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1983. 316 p.
- ELETROBRAS. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. Relatório conjunto sobre energia hidrelétrica no Brasil, 1985a. Disponível em: <https://www.memoriadaeletricidade.com.br/acervo/@relId/5045>. Acesso em 12 jan. 2024.
- ELETROBRAS. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. **Manual de Microcentrais Hidrelétricas**. Rio de Janeiro, 1985b. 344 p.
- ELS, R.H.V. Projeto de Revitalização Usina Hidrelétrica Chapada Imperial, 2018.
- ENEL GREEN POWER. **Usina Hidrelétrica**, 2023. Disponível em: <https://www.enelgreenpower.com/pt/learning-hub/energias-renoveis/energia-hidraulica/usina-hidreletrica>. Acesso em: 05 abr. 2023.
- FRAGOSO, L.F. Turbinas hidráulicas. **Docplayer**, 2016. Disponível em: <https://docplayer.com.br/15180491-8-turbinas-hidraulicas-8-1-introducao.html>. Acesso em 06 fev. 2023.

GONÇALVES, R.S. **Energia Elétrica no Brasil: Aspectos Históricos e Tendências Recentes**. São Paulo: Editora Atlas, 2018.

ITAIPU BINACIONAL. **Nossa História**, 2023. Disponível em: <https://www.itaipu.gov.br/nossahistoria>. Acesso em: 01 dez. 2023.

LEITE, A.D. **A energia do Brasil**. 1. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997.

MACINTYRE, A.J. **Máquinas motrizes hidráulicas**. 1.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983. 649 p.

MELLO JUNIOR, A.G. **A turbina de fluxo cruzado (Michell-Banki) como opção para centrais hidráulicas de pequeno porte**. 2000. 217p. Dissertação (Mestrado em energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

MUNHOZ, G.P.; MARQUES, T. **Estudo de turbina para implantação em uma central hidrelétrica**. 2015. 76 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

NOLETO, L. **Sistemas Hidrelétricos**. Material extraído de aula, Universidade de Brasília, 2022.

PEREIRA, R.A. SSA: Turbina de Pelton. In: XVI Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 6., 2019, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro: SEGET, 2019. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos19/26128236.pdf>. Acesso em 20 fev. 2023.

PREFEITURA JUIZ DE FORA. **Fundação Cultural Alfredo Ferreiro Lage: Bens Tombados - Usina Marmelos**, 2001. Disponível em: https://www.pjf.mg.gov.br/administracao_indireta/funalfa/patrimonio/historico/usina_marmelos.php. Acesso em: 30 nov. 2023.

SOARES JUNIOR, R.L. **Projeto conceitual de uma turbina hidráulica a ser utilizada na usina hidrelétrica externa de Henry Borden**. 2013. 83 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Mecânica) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

SOUZA, Z.; FUCHS, R.D.; SANTOS, A.H.M. **Centrais Hidro e Termelétricas**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher - Escola Federal de Engenharia, 1983. 241 p.

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

SOUZA, Z. **Máquinas de Fluxo**. São Paulo: Edgard Blücher, 2012. 252 p.

SZNICER, G.P. **Estudo de Viabilidade Hidráulica para a Construção de uma Mini Central Hidrelétrica**. 2015. 45 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015.

TIMM, L.C. *et al.* Construção e avaliação de uma turbina "tipo Pelton". Laboratório Física do Solo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura. **Irriga**, v.8, n.3, 283-289, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2003.

WHITE, F.M. **Mecânica dos Fluidos**. 7. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2011. 885 p.

WADHWA, C. L. **Electrical Power Systems**. New Age International, 2005. 887 p. Disponível em: https://books.google.com.br/books/about/Electrical_Power_Systems.html?id=Su3-0UhVF28C&redir_esc=y. Acesso em 12 jan. 2024.