

ANÁLISE DO POTENCIAL ENERGÉTICO DE UMA MICROCENTRAL HIDRELÉTRICA A FIO D'ÁGUA¹

Alceu Luiz Perszel Junior²
Igor Schmidt³
Fabiano Faller⁴
Keila Daiane Ferrari Orso⁵

RESUMO

Com o contínuo crescimento do consumo energético nas últimas décadas e a busca por fontes de energia renováveis, o estudo de métodos alternativos de produção de energia tem se destacado no mundo contemporâneo. Com o objetivo de ampliar o conhecimento acerca da microgeração de energia foi elaborado um estudo sobre o potencial energético de uma microcentral hidrelétrica a fio d'água, uma alternativa renovável com amplo campo de aplicação em território nacional. Tendo como base um afluente localizado no norte do Rio Grande do Sul, analisou-se as características do local, obtendo-se uma altura bruta de 21,2 metros. Através de medições realizadas em campo foi mensurada uma vazão nominal de 8,62 L/s. Através de equações matemáticas, tomando-se como base os rendimentos de uma turbina Pelton, calculou-se o potencial energético do local, obtendo-se uma potência elétrica de 1,22 kW. Os resultados obtidos demonstram a capacidade de geração de energia no local com a aplicação de uma microcentral hidrelétrica, apresentando mais uma alternativa para a matriz energética brasileira.

Palavras-chave: Microgeração. Hidroeletricidade. Potencial.

1 INTRODUÇÃO

A demanda crescente de energia é um desafio a ser superado nos dias atuais, seja por fatores econômicos, ambientais ou até mesmo logísticos. Conseqüentemente, a forma como essa energia é transformada é de grande importância para o mundo moderno. Neste sentido, as preocupações com o meio ambiente e com o aquecimento global impedem que o uso de combustíveis fósseis, como o carvão, gás natural e óleo diesel perpetuem-se. Ou seja, a busca por fontes renováveis torna-se cada vez mais necessária.

Neste sentido o Brasil é modelo mundial na forma de geração de energia, já que grande parte de sua produção energética vem de fontes renováveis, sendo que a maior parte desse montante é representado pela energia hidrelétrica. Contudo o aproveitamento hidrelétrico no

¹ Pré requisito para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

² UCEFF Faculdades, estudante de Engenharia Mecânica, alcejunior96@hotmail.com.

³ Docente do curso de Engenharia Mecânica da UCEFF, igor@uceff.edu.br.

⁴ UCEFF Faculdades. Docente do curso de Engenharia Mecânica. E-mail: fabiano.faller@uceff.edu.br.

⁵ UCEFF Faculdades. Docente do curso de Engenharia Mecânica. E-mail: keilaorso@hotmail.com.

Brasil se dá majoritariamente em grande escala, com o aproveitamento em Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e Microcentrais Hidrelétricas sendo muito reduzido.

A geração de energia localmente pelo próprio consumidor possui muitas vantagens, como redução nas perdas com transmissão e baixo impacto ambiental. Nesse sentido o tipo de geração que mais se destaca é a geração de energia solar fotovoltaica, com crescimentos substanciais nos últimos anos. Porém esse tipo de produção apresenta algumas desvantagens, como alto investimento inicial para instalação do equipamento necessário e geração de energia em somente parte do dia, alcançando seu pico de produção por apenas algumas horas.

Uma alternativa pouco explorada para geração de energia local é instalação de uma microcentral hidrelétrica, que dependendo do local onde for aplicada, pode trazer os benefícios da geração hidrelétrica, como geração contínua de energia. Por ser uma área de aplicação pouco explorada, se fazem necessários mais estudos que destaquem a capacidade de produção de energia em um cenário amplamente disponível no território brasileiro, como pequenos córregos e afluentes.

Neste sentido uma pergunta que se faz necessária é: **Um curso d'água de baixa vazão e baixa queda possui capacidade para atender uma microcentral hidrelétrica?**

Para responder a essa pergunta se faz necessário analisar um local com as características supracitadas a fim de definir as variáveis presentes no projeto e obter-se a potência hidráulica disponível na região. Considerando o exposto acima, tem-se como objetivo geral deste estudo avaliar o potencial energético de um curso de água, com vazão e queda definidos, ampliando o conhecimento disponível sobre esse meio de geração, a fim de torná-la mais uma alternativa a ser analisada, por quem deseja ter sua própria produção de energia. Para isso tem-se como objetivos específicos: explorar as definições de microgeração de energia; analisar a vazão e queda nominal disponíveis no local de estudo; explorar os tipos de turbinas hidráulicas existentes e através dos dados coletados, estimar a potência hidráulica disponível no local.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 MICROGERAÇÃO DE ENERGIA

A Agência Nacional de Energia Elétrica classifica os diferentes tipos de usinas geradoras de energia a partir de sua capacidade de geração. Para ANEEL (2015), a

microgeração de energia elétrica localizada é definida como uma central geradora que possua no máximo 75 kW de potência instalada, e que esteja conectada na rede pública de distribuição.

Essa regulamentação também aborda que para ser classificada como microgeração de energia elétrica, a fonte de produção deve ser baseada em energia hidráulica, biomassa, solar, eólica ou cogeração qualificada.

Para Fadigas (2011), o uso de geração de energia de forma distribuída, em pequenas e microcentrais, é uma tendência mundial. Seu uso usufrui de várias vantagens, como: menores impactos ambientais, menores investimentos, menor tempo de maturação e redução de perdas nas linhas de transmissão.

Um sistema de microgeração de energia pode, além de ajudar a minimizar despesas através de um meio de geração de energia limpa, trazer importantes avanços às comunidades isoladas, que muitas vezes não possuem acesso à energia elétrica (FARRET, 2014).

Em 2010, no Brasil, a microgeração de energia ultrapassou a marca de 10 mil instalações. Estima-se que em 2024 esse número possa chegar a 1,2 milhão de produtores, que produzirão cerca de 4,5 gigawatts (GW) de potência instalada (ANEEL, 2017). Neste contexto, a geração por meio da energia solar é a que mais se destaca, seguida por energia eólica e hidráulica.

2.2 MICROGERAÇÃO HIDRELÉTRICA

De acordo com ANEEL (2005), a energia hidráulica resulta do conjunto de ação da energia solar e energia potencial gravitacional, que provocam evaporação e posterior precipitação da água no solo em forma de chuva. Quando armazenada em rios, esta água pode ser acumulada em barragens, adquirindo uma energia potencial que pode ser convertida em energia mecânica.

Para Farret (2014), as centrais hidrelétricas podem ser subdivididas em centrais com reservatório de acumulação ou a fio de água. Em um reservatório de acumulação a vazão do rio é regularizada através de barragens, obtendo-se um acúmulo de água em períodos de cheia que pode ser utilizado posteriormente em uma época de estiagem. Neste tipo de operação o aproveitamento da água é total, o que resulta em uma maior potência instalada, por outro lado sua instalação requer estudos hidrológicos e topográficos mais aprofundados, além de causar maior impacto ambiental.

Por sua vez uma central hidrelétrica a fio de água não possui um reservatório de acumulação, seu aproveitamento energético é feito diretamente sobre a vazão não regularizada do rio ou córrego. Neste caso a potência da turbina é calculada sobre a vazão do rio em época de estiagem. Esta análise é necessária para garantir uma geração constante de energia, independente do período hidrológico em que esteja.

Em uma central hidrelétrica a fio de água o aproveitamento da água é parcial, não havendo desvio do curso natural do rio no qual será instalada. Apesar da potência instalada ser menor devido a não utilização de reservatórios de acumulação, este tipo de geração possui como vantagens um baixo impacto ambiental, dispensabilidade de estudos hidrológicos aprofundados e menor investimento de capital (REIS, 2011).

2.3 CLASSIFICAÇÃO DAS TURBINAS HIDROELÉTRICAS

O meio mais antigo de aproveitamento da energia hidráulica é através de rodas d'água. Esse tipo de mecanismo foi muito utilizado na antiguidade para acionamento de moinhos. Seu uso pode ser destinado a geração de energia elétrica, porém essa aplicação não é muito comum (FARRET, 2014).

Apesar de serem de fácil construção, normalmente construídas em madeira, e baixo custo as rodas d'água apresentam algumas desvantagens em relação aos outros métodos de aproveitamento da energia hidráulica. Por serem mecanismos de baixa velocidade angular, sua aplicação requer o uso de multiplicadores para acionamento do gerador e por terem de modo geral uma construção mais arcaica apresentam grandes perdas por atrito (FARRET, 2014).

O modo mais comum de aproveitamento da energia hidráulica é através do uso de turbinas. Segundo Carvalho (1982), turbina hidráulica é uma máquina que transforma energia hidráulica em energia mecânica e é construída normalmente em dois órgãos, o rotor e o distribuidor. O distribuidor é o órgão responsável por conduzir a água até o rotor, transformando a energia de pressão em energia cinética. O rotor por sua vez é o elemento móvel que através da ação da água sobre suas pás, transforma a energia cinética em energia mecânica de rotação que é transferida ao eixo em forma de potência e movimento.

Segundo Farret (2014), turbinas são rodas acionadas por algum fluido em movimento, que acionam palhetas, transferindo sua energia cinética e fazendo a roda girar. Elas possuem diversos formatos de acordo com sua aplicação, normalmente são máquinas de construção mais

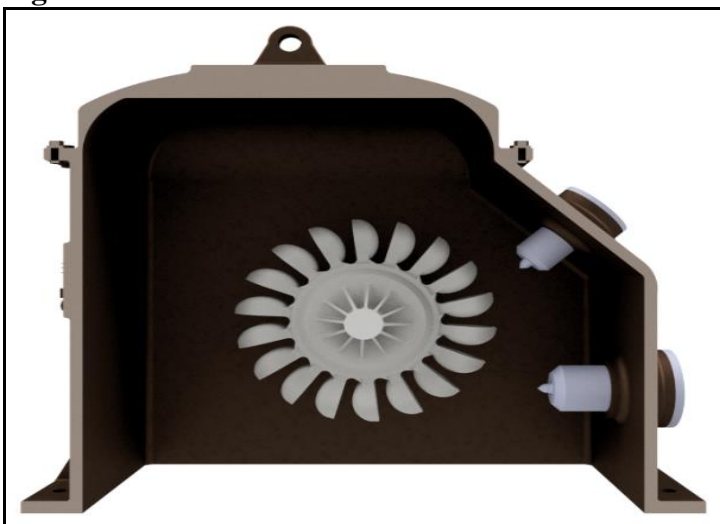
elaborada e possuem diversas vantagens quando comparadas as rodas d'água como uma elevada velocidade angular e alto rendimento mecânico.

Para Tolmasquim (2003), existem dois tipos de turbinas hidráulicas, de acordo com seu modo de operação, podendo ser turbina de ação ou turbina de reação. Nas turbinas de ação a energia hidráulica disponível é transformada em energia cinética, que ao incidir sobre o rotor é transformada em energia mecânica. Não existe diferença de pressão entre a parte superior e inferior do rotor, tudo ocorre a pressão atmosférica. O modelo mais comumente utilizado de turbina de ação é o tipo Pelton.

Nas turbinas de reação por sua vez a água ao entrar no rotor, possui energia cinética e energia de pressão, além disso existe uma diferença de pressão entre a parte superior e inferior do rotor. Os modelos mais utilizados de turbinas a reação são o tipo Francis, Hélice e Kaplan.

As turbinas Pelton são turbinas de ação e fluxo livre, nelas toda a energia potencial é transformada em energia cinética através de injetores que impulsionam a água através das pás do rotor, que por sua vez transforma essa energia em energia mecânica. Sua aplicação é mais utilizada em locais com grandes quedas e pequenas vazões. Possui diversas vantagens como rendimento elevado, em torno de 90 %, fácil manutenção, construção mecânica robusta e baixo risco de erosão (CARVALHO, 1982). A Figura 1 apresenta uma turbina Pelton com dois bicos injetores.

Figura 1: Turbina Pelton



Fonte: Adaptado de: Grabcad (2014).

Para Farret (2014), seu uso em microcentrais hidrelétricas é viável para operações com queda nominal a partir de 20 metros e vazão superior a 10 L/s. Por operar em pressão ambiente

e possuir uma construção relativamente simples sua manutenção é barata o que pode ser uma grande vantagem neste tipo de operação. Como ponto negativo pode ser ressaltado o fato da altura disponível ser limitada em sua cota inferior pelo ponto de impacto do jato de água nas pás do rotor.

Uma alternativa a turbina Pelton em microcentrais hidrelétricas é a turbina Francis. Conforme visto anteriormente este tipo de turbina pode ser classificado como turbina de reação e possui características que podem favorecer seu emprego dependendo do local onde será instalada a usina.

Em uma turbina Francis a água entra em contato com o rotor em uma direção radial e é descarregada em direção axial, neste tipo de turbina há a transformação tanto de energia cinética como energia de pressão em trabalho. Seu campo de emprego se dá em locais com média queda e vazão tornando um modelo intermediário entre as turbinas Pelton e Kaplan (CARVALHO, 1982). A Figura 2 apresenta uma vista detalhada dos componentes de uma turbina Francis.

Figura 2: Turbina Francis



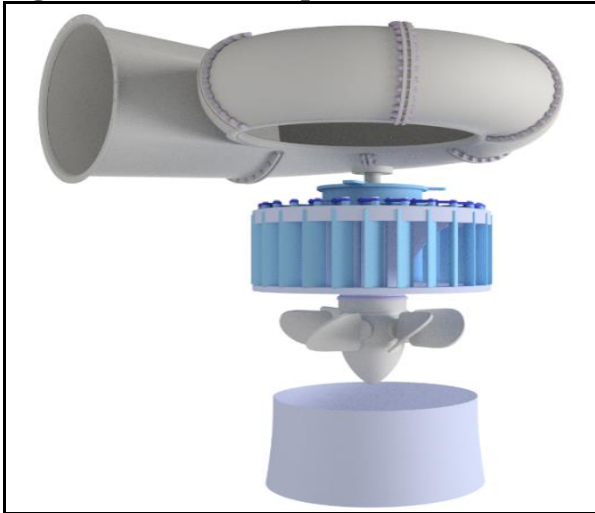
Fonte: Adaptado de: Grabcad (2020).

Segundo Farret (2014), sua aplicação em microcentrais hidrelétricas se dá em alturas entre 2 e 150 metros e vazões a partir de 100 L/s o que a torna uma turbina altamente versátil. Possui como vantagem em relação a turbina Pelton o aproveitamento total do desnível para produção de energia devido ao seu tubo de sucção. Apesar disso a turbina Francis possui uma manutenção mais cara quando comparada a Pelton, um alto risco de cavitação e sensibilidade em relação a materiais em suspensão trazidos pela água.

Com o passar do tempo diversas alterações foram feitas no rotor Francis visando aperfeiçoar seu rendimento em determinadas características de utilização. Por volta de 1912 Vitor Kaplan projetou uma turbina na qual a água penetrava em direção radial, e após deixar o

distribuidor circulava sobre o rotor e o atingia em uma direção axial. Mais tarde observou-se que o rendimento desse tipo de turbina podia ser melhorado com a alteração do ângulo das pás do rotor de acordo com a alteração de vazão disponível. A turbina com pás fixas deu-se o nome de turbina a hélice, a turbinas com pás móveis deu-se o nome de turbinas Kaplan (CARVALHO,1982). A Figura 3 apresenta uma turbina Kaplan.

Figura 3: Turbina Kaplan



Fonte: Adaptado de: Grabcad (2019).

Sua operação em microgeração de energia é mais indicada para locais com alta vazão disponível e baixa queda com variação entre 0,8 e 5 metros. Seu acionamento é dado através de uma bomba de vácuo de modo a permitir o enchimento do sifão com água formando assim um desnível entre a montante e a jusante. Para sua operação são necessárias além da bomba de vácuo um motor elétrico para alteração do posicionamento das pás do rotor e um multiplicador de velocidades para geradores de alta rotação (FARRET, 2014).

O projeto de uma microcentral hidrelétrica possui alguns fatores importantes quando comparados a outros tipos de usinas. Diferentemente das usinas de médio e grande porte um dos fatores que mais se destaca na escolha do tipo de turbina é o baixo investimento inicial para produção de energia, muitas vezes em detrimento de outros fatores como seu rendimento. Duas alternativas as turbinas tradicionais para microgeração de energia são a turbina Michell Banki e Bombas Funcionando como Turbina (FARRET, 2014).

Em uma turbina Michell Banki, ou fluxo cruzado, a água proveniente da tubulação tem sua seção de escoamento alterada, em uma peça de transição, de circular para retangular e através do injetor juntamente com uma pá diretriz é direcionado para o rotor. O rotor tem uma

construção na qual a água passa duas vezes pelas suas pás, sendo escoada por um canal após o seu acionamento (TOLMASQUIM, 2003).

Para Farret (2014), a turbina Michell Banki trata-se de uma turbina de ação que possui algumas vantagens como construção multicelular, capacidade de operar com até um terço de sua capacidade e baixa exigência de obras civis para sua instalação. Pode operar em vazões que se iniciam em 25 L/s e alturas de queda entre 1 e 200 metros.

Uma alternativa muito utilizada em microcentrais é a bomba funcionando como turbina (B.F.T). Seu funcionamento dá-se com a utilização de uma bomba com seu fluxo de água invertido. Para Tolmasquim (2003), seu uso mostra-se altamente adequado para instalação com potência instalada menor que 50 kW, sendo uma solução econômica para microcentrais.

Farret (2014) ressalta que uma B.F.T. apresenta como vantagens baixo custo de aquisição quando comparado aos demais tipos de turbinas e tempo mínimo de aquisição da máquina, visto que existem diversos padrões comerciais sendo vendidos no varejo. Por outro lado, a sua operação possui desvantagens como menor rendimento e suscetibilidade a cavitação.

2.4 CÁLCULOS DA POTÊNCIA DISPONÍVEL

Para realização dos cálculos referentes a potência disponível, primeiramente é necessário a obtenção dos dados de vazão disponíveis no córrego onde será instalada a microcentral hidrelétrica. Entre os procedimentos mais comuns para medições em rios de pequeno porte estão o método volumétrico, o uso de flutuadores, vertedores, tubos de Pitot e molinetes.

O método volumétrico é um dos mais simples meios de obtenção da vazão em um canal. Sua aplicação consiste em bombear água para um reservatório com capacidade volumétrica conhecida. A mudança de nível do reservatório ao longo do tempo indica a vazão que está sendo bombeada (SCHNEIDER, 2011).

O uso de flutuadores consiste em escolher-se um trecho uniforme de um rio e medir o tempo necessário para que um flutuador percorra determinada distância, superior a 10 metros. Através do tempo decorrido no trajeto e os dados de profundidade e largura do rio obtém-se a vazão do local (FARRET, 2014).

O uso de vertedores consiste em represar a água de um rio, fazendo com que o seu fluxo seja desviado para um vertedouro de um meio até dois terços da largura original do canal.

Através da medição da largura do vertedouro e altura do nível de água acima da crista do vertedouro obtém-se a vazão do local (FARRET, 2014).

O molinete é um equipamento destinado a medição da velocidade de um curso d'água. Após a obtenção da velocidade do fluxo, juntamente com a largura e profundidade do rio calcula-se a vazão em escoamento. Outro método para se calcular a velocidade do fluxo de água é através do tubo de Pitot, sendo possível posteriormente calcular-se a vazão disponível (CARVALHO, 1982).

Em uma microcentral hidrelétrica a fio d'água, a ausência de regularização faz necessário que o cálculo da vazão, a fim de projeto, seja a vazão disponível em época de estiagem, garantindo-se assim a sua disponibilidade em um período entre 90 a 100 % do tempo. A essa energia dá-se o nome de energia primária (REIS, 2011).

As principais variáveis de projeto que interferem diretamente na potência são a altura nominal e a vazão disponível na turbina. Segundo Carvalho (1982), a potência disponível no eixo da turbina pode ser obtida através da equação 1.

Equação 1:

$$N_e = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{75} \cdot n$$

Onde:

- N_e = Potência efetiva [cv];
- Q = Vazão turbinada [m³/s];
- H = Queda útil [m];
- γ = Peso específico [kgf/m³];
- n = Rendimento da turbina [adm].

Para Couto (2012), um conduto forçado é o elemento de sistemas hidráulicos responsável pelo transporte de um fluido entre dois pontos, normalmente operando em pressões superiores à pressão atmosférica.

Em uma microcentral hidrelétrica o conduto é responsável pelo transporte da água captada a montante até a turbina hidráulica. A equação de Hazen-Williams (equação 2) para o cálculo da adutora leva em consideração a diferença de altura entre os pontos inicial e final e a rugosidade do material (COUTO, 2012).

Equação 2:

$$Q = 0,2785 \cdot C \cdot D^{2,63} \cdot J^{0,54}$$

$$Q = 0,2785 \cdot C \cdot D^{2,63} \cdot (hp/L)^{0,54}$$

Onde:

- C = Coeficiente adimensional que depende da natureza do material empregado na adutora;
- D = Diâmetro da adutora [m];
- hp = Perda de carga no percurso [m];
- L = Comprimento da adutora [m];
- J = Perda de carga, por unidade de comprimento da adutora [adm];
- Q = Vazão aduzida [m³/s].

Para Carvalho (1982), para analisar a potência disponível no eixo da turbina é preciso levar em consideração as perdas ocorridas durante o transporte do fluido e a operação da turbina. Essas perdas podem ser resumidas em rendimento hidráulico, rendimento volumétrico e rendimento mecânico.

Segundo Carvalho (1982), o rendimento hidráulico leva em consideração a perda de carga ocorrida no fluido durante sua trajetória no interior da turbina e a perda pela energia cinética residual. O rendimento hidráulico da turbina pode ser obtido na equação 3. Os valores usuais para rendimento hidráulico nos principais tipos de turbinas são apresentados na Tabela 1.

Equação 3:

$$n_H = \frac{H - \frac{C_3^2}{2g} - \Delta H_T}{H}$$

Onde:

- n_H = Rendimento hidráulico [adm];
- H = Queda útil [m];
- $\frac{C_3^2}{2g}$ = Perda de carga devido a energia cinética residual de saída [m];
- ΔH_T = Perda de carga ocorrida pela trajetória da água dentro da turbina [m].

Tabela 1: Rendimento hidráulico

Tipo de turbina	Dimensão	η_H
Reação	Pequena	90%
	Média	92%
	Grande	96%
Ação	Pequena	85%
	Média	88%
	Grande	94%

Fonte: Adaptado de Henn (2006).

Devido as folgas existentes entre o rotor e a carcaça da turbina, parte do fluido não é direcionada ao rotor, resultando em perdas volumétricas. O rendimento volumétrico da turbina é dado na equação 4. Os valores usuais para rendimento volumétrico nos principais tipos de turbinas são apresentados na Tabela 2 (CARVALHO, 1982).

Equação 4:

$$n_v = \frac{Q - (q_i + q_s)}{Q}$$

Onde:

- n_v = Rendimento volumétrico [adm];
- Q = Vazão [m^3/s];
- q_i = Perdas volumétricas inferiores [m^3/s];
- q_s = Perdas volumétricas superiores [m^3/s].

Tabela 2: Rendimento volumétrico

Tipo de turbina	Francis lenta	Kaplan	Pelton
n_v	95%	98%	100%

Fonte: Adaptado de Carvalho (1982).

O rendimento mecânico por sua vez é resultante das perdas por atrito e resistência da água ao giro do rotor. O rendimento mecânico da turbina é apresentado na equação 5 (CARVALHO, 1982). Os valores usuais para rendimento mecânico nos principais tipos de turbinas são apresentados na Tabela 3.

Equação 5:

$$n_m = \frac{N - \Delta N}{N}$$

Onde:

- n_m = Rendimento mecânico [adm];
- N = Potência cedida ao rotor pela água ou potência efetiva [cv];
- ΔN = Perda de potência [cv].

Tabela 3: Rendimento mecânico

Turbina	Dimensão	n_m
Reação	Pequena	95%
	Média	97%
	Grande	98%
Ação	Pequena	94%
	Média	97%
	Grande	98%

Fonte: Adaptado de Henn (2006).

O rendimento utilizado para calcular-se a potência no eixo da turbina é apresentado na equação 6 (CARVALHO, 1982).

Equação 6:

$$n = n_H \cdot n_V \cdot n_m$$

Além dos cálculos referentes a potência disponível no eixo da turbina, devem ser observadas as perdas ocorridas durante a transformação da energia mecânica em energia elétrica pelo gerador, ocorridas principalmente devido a perdas por atrito em rolamentos, mancais e demais componentes. Geradores modernos apresentam alto rendimento entre $90 < n_g < 99$ (ENCINA, 2009). Deste modo obtemos a potência elétrica disponível pela equação 7.

Equação 7:

$$P = N_e \cdot n_g$$

Onde:

- P = Potência elétrica [kW];
- N_e = Potência efetiva no eixo da turbina [kW];
- n_g = Rendimento do gerador [adm].

A quantidade de energia fornecida pela microcentral ao longo de um mês pode ser obtida através da equação 8 (REIS, 2011).

Equação 8:

$$E = P \cdot 720$$

E = Quantidade de energia [kWh];

P = Potência [kW].

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para avaliação do potencial energético de uma microcentral hidrelétrica foi definido um curso d'água localizado em Erval Grande – RS, em uma propriedade rural. O local foi escolhido devido as suas características geográficas serem comuns em território brasileiro, sendo um terreno acidentado pertencente a bacia hidrográfica do rio Uruguai.

Para a verificação da queda bruta disponível entre o ponto de coleta de água até o local onde será instalada a turbina, utilizou-se de uma corda e um transferidor. A corda foi inicialmente posicionada no ponto de coleta de água e esticada até o ponto de instalação da turbina. Com o auxílio de um transferidor foi verificado o ângulo formado entre a corda e o solo. Através do conhecimento do comprimento da corda e do ângulo obtido, utilizou-se das razões trigonométricas para calcular-se a queda bruta disponível.

A medição da vazão do curso d'água em questão foi realizada através do método volumétrico, o qual consiste em represar a água do córrego, fazendo com que toda a vazão ocorra em único ponto, no qual é colocado um recipiente com capacidade volumétrica conhecida, sendo medido o tempo necessário para seu completo enchimento (MENDONÇA, 2020).

Para a realização do procedimento foi elaborado um desvio no rio em questão, toda a água afluyente foi represada para um único ponto, obrigando a sua passagem através de um cano de PVC de 200 mm de diâmetro. Na saída do tubo foi colocado um recipiente com capacidade volumétrica de 50 litros e com o auxílio de um cronômetro foi verificado o tempo necessário para seu completo enchimento.

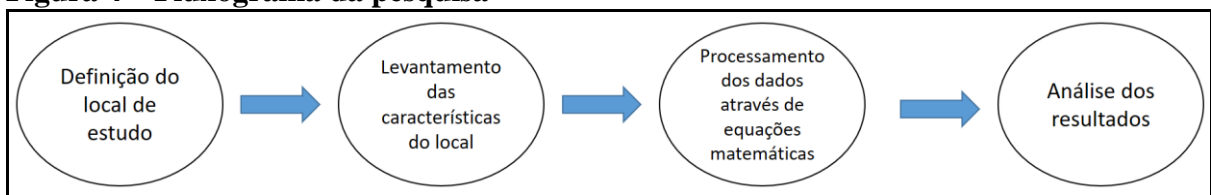
A medição da vazão foi realizada em um período de poucas chuvas, para obter-se um retrato da vazão disponível em uma época de escassez de água. Não foi possível obter-se dados referentes a vazão mínima do curso d'água devido à ausência de dados históricos sobre o local.

Para cálculos referentes a perda de carga disponível entre o ponto a montante e a jusante foi utilizado como base uma tubulação em canos de PVC visto o menor custo de instalação

quando comparado a outros métodos e a baixa vazão disponível no local, sendo um material de fácil obtenção e instalação. A inclinação utilizada no projeto para instalação do conduto forçado foi de 45°.

Através dos dados de altura nominal e vazão disponível obtidos no local analisado e posterior aplicação dos cálculos apresentados no referencial teórico obteve-se a potência disponível no eixo da turbina. A sequência de desenvolvimento do projeto pode ser melhor analisada através do fluxograma, na Figura 4.

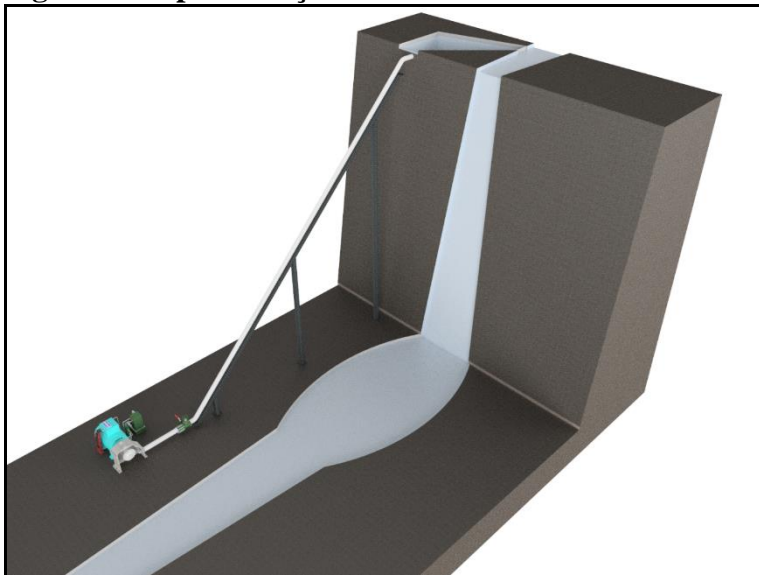
Figura 4 – Fluxograma da pesquisa



Fonte: Dados da pesquisa (2020).

Já, a Figura 5 é uma representação de uma microcentral hidrelétrica instalada no local.

Figura 5: Representação da microcentral hidrelétrica



Fonte: Dados da pesquisa (2020).

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Através dos dados coletados durante a pesquisa de campo foi possível correlacioná-los com as equações descritas anteriormente obtendo-se os seguintes resultados.

Posicionando-se uma corda entre o ponto da tomada d'água e o local de instalação da turbina com uma inclinação de 45° obteve-se um comprimento de 30 metros entre os pontos, a montante e a jusante. Com o uso das razões trigonométricas obteve-se uma queda bruta de 21,2 metros de altura.

$$\text{cat oposto} = \text{sen } \alpha \cdot \text{hipotenusa}$$

$$\text{cat oposto} = \text{sen } 45^\circ \cdot 30$$

$$\text{cat oposto} = 21,2 \text{ metros}$$

Para o cálculo da vazão disponível no rio estudado, utilizou-se de 3 medições através do método volumétrico. Os dados obtidos são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Vazão disponível

Coleta de dados	Volume coletado [L]	Tempo decorrido [s]	Vazão obtida [L/s]
Aferição 1	50	6,0	8,33
Aferição 2	50	5,6	8,92
Aferição 3	50	5,8	8,62

Fonte: Pesquisa de campo (2020).

Através das 3 medições realizadas foi obtido uma vazão média de 8,62 L/s ou 0,00862 m³/s. Utilizando-se da equação de Hazen-Willians para o cálculo da adutora, onde *C* igual a 140 para tubulação em PVC (COUTO, 2012):

- *C* = 140 para tubulação em PVC [adm];
- *D* = 0,150 [m];
- *hp* = Perda de carga no percurso [m];
- *L* = 35 [m];
- *Q* = Vazão aduzida [m³/s].

$$Q = 0,2785 \cdot C \cdot D^{2,63} \cdot (hp/L)^{0,54}$$

$$0,00862 = 0,2785 \cdot 140 \cdot 0,15^{2,63} \cdot (hp/35)^{0,54}$$

$$hp = 0,061 \text{ metros}$$

Devido as características do local estudado, com vazão de 8.62 L/s e queda bruta superior a 20 metros, pode-se usar para os cálculos de potência disponível uma turbina Pelton com os rendimentos apresentados na equação 6.

$$n = n_H \cdot n_V \cdot n_m$$

$$n = 0,85 \cdot 1,00 \cdot 0,94$$

$$n = 0,80$$

É importante considerar que devido as características da turbina Pelton a altura disponível é limitada em sua cota inferior pelo ponto de impacto do jato de água nas pás do rotor. Como o conjunto turbina/gerador será instalado próximo ao solo será considerado a altura de 1 metro entre o ponto de impacto do jato e o nível do solo, deste modo.

$$H = H - h_p - 1$$

$$H = 21,20 - 0,06 - 1$$

$$H = 20,14 \text{ metros}$$

Utilizando-se da equação 1 é possível obter-se potência útil no eixo da turbina.

$$N_e = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{75} \cdot n$$

$$N_e = \frac{1000 \cdot 0,00862 \cdot 20,14}{75} \cdot 0,8$$

$$N_e = 1,85 \text{ cv ou } 1,36 \text{ kW}$$

Considerando-se que o rendimento do gerador utilizado na conversão da energia mecânica em energia elétrica é de 90 %, a potência elétrica disponível é dada por.

$$P = N_e \cdot n_g$$

$$P = 1,36 \cdot 0,9$$

$$P = 1,22 \text{ kW}$$

A quantidade de energia obtida ao longo de um mês é expressa por.

$$E = P \cdot 720$$

$$E = 1,22 \cdot 720$$

$$E = 878,40 \text{ kWh}$$

Com base no exposto, e considerando o objetivo do estudo em analisar o potencial energético de um curso de água específico obteve-se uma potência elétrica de 1,22 kW. A potência elétrica foi obtida tomando-se como base os dados de vazão em um período de estiagem, o que representa a potência mínima disponível no local. Tais dados em épocas de chuvas regulares apresentam valores maiores aos citados no estudo.

Desta forma, ao ser analisado que o consumo residencial médio na região sul do Brasil no ano de 2019 foi de 181,6 kWh/mês (EPE, 2020), com a instalação de uma microcentral hidrelétrica no local seria possível obter energia para o consumo de aproximadamente 4,8 lares.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo desenvolvido buscou apresentar mais uma alternativa para a produção de energia elétrica em microescala. O local analisado possui características topográficas comuns em território brasileiro, sugerindo que tal método de geração de energia possui um amplo campo de aplicação.

Os dados obtidos com a pesquisa apresentam resultados consistentes em relação a microgeração de energia hidrelétrica. Utilizando-se como local de estudo um córrego com queda bruta de 21,2 metros e uma vazão disponível de 8,62 L/s foi possível estimar a potência elétrica disponível em 1,22 kW produzindo 878 kWh de energia por mês.

Por fim, destaca-se que a análise do potencial energético de uma microcentral hidrelétrica trata-se de ponto inicial para sua implementação. Uma vez avaliado o potencial da propriedade, faz-se necessário estudos futuros acerca dos componentes utilizados na construção de uma central hidrelétrica, como a viabilidade econômica dos diferentes tipos de turbinas hidráulicas e a interligação da central com a rede elétrica de distribuição.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Geração Distribuída**. 2015. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>>. Acesso em: 29 ago. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Brasil possui mais de 10 mil conexões de micro e minigeração distribuída. Maio, 2017. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/brasil-possui-mais-de-10-mil-conexoes-de-micro-e-minigeracao-distribuida/656877>. Acesso em: 29 ago. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Energia Hidráulica**. 2005. Disponível em: < [http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/04-Energia_Hidraulica\(2\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/04-Energia_Hidraulica(2).pdf)>. Acesso em: 29 ago. 2020.
- CARVALHO, Djalma F. **Usinas Hidroelétricas Turbinas**. Belo Horizonte. Minas Gerais: Fumarc, 1982.
- COUTO, Luiz M. M. **Elementos da Hidráulica**. Brasília. Ed. Universidade de Brasília, 2012.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020, Ano Base 2019**. 2020. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/EPEFactSheetAnuario.pdf>>
- ENCINA, A. S. A. **Despacho Ótimo de Unidades Geradoras em Sistemas Hidrelétricos Via Heurística Baseada em Relaxação Lagrangeana e Programação Dinâmica**. 2006. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/260211/1/ArceEncina_AnastacioSebastian_D.pdf>. Acesso em: 3 out. 2020.
- FADIGAS, E. A. F. A. **Energia eólica**. Barueri. São Paulo. Ed. Manole, 2011.
- FARRET, Felix A. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica**. 2. Ed. Santa Maria: UFSM, 2014.
- GRABCAD, **250 kW Pelton Turbine**. 2014. Disponível em: <<https://grabcad.com/library/250-kw-pelton-turbine-1>>. Acesso em: 15 nov. 2020.
- GRABCAD, **Francis Turbine**. 2020. Disponível em: <<https://grabcad.com/library/kaplan-turbine-design-1>>. Acesso em: 15 nov. 2020.
- GRABCAD, **Kaplan Turbine Design**. 2019. Disponível em: <<https://grabcad.com/library/francis-turbine-11>>. Acesso em: 15 nov. 2020.
- HENN, E. A. L. **Máquinas de Fluido**. Santa Maria. 2 Ed. UFSM, 2006.

MENDONÇA, Fernando C. **Hidrometria**. 2020. Disponível em: <http://www.leb.esalq.usp.br/leb/disciplinas/Fernando/leb472/Aula_12/Aula%2012_Hidrometria.pdf>. Acesso em: 10 out. 2020.

REIS, Lineu B. **Geração de Energia Elétrica**. Barueri. São Paulo. 2. Ed. Manoele, 2011.

SCHNEIDER, Paulo S. **Medição de Velocidade e Vazão de Fluidos**. Porto Alegre: UFRGS. 2014. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/medterm/areas/area-ii/vazao_mt.pdf>. Acesso em: 3 out. 2020.

TOLMASQUIM, Mauricio T. **Fontes Renováveis de Energia no Brasil**. Rio de Janeiro. Ed. Interciência Ltda, 2003.