

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
ARON MASSUCATTO LIMA

**VIABILIDADE TÉCNICA DA IMPLANTAÇÃO DE UMA MICROCENTRAL
HIDRELÉTRICA (MCH) PARA UMA PROPRIEDADE RURAL NA CIDADE DE
CASCAVEL - PR**

CASCAVEL
2018

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
ARON MASSUCATTO LIMA

**VIABILIDADE TÉCNICA DA IMPLANTAÇÃO DE UMA MICROCENTRAL
HIDRELÉTRICA (MCH) PARA UMA PROPRIEDADE RURAL NA CIDADE DE
CASCAVEL - PR**

Projeto de pesquisa apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz para elaboração do Trabalho de Conclusão de Curso.

Orientador: Prof. Ewerson Luiz Poisk.

CASCAVEL
2018

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
ARON MASSUCATTO LIMA

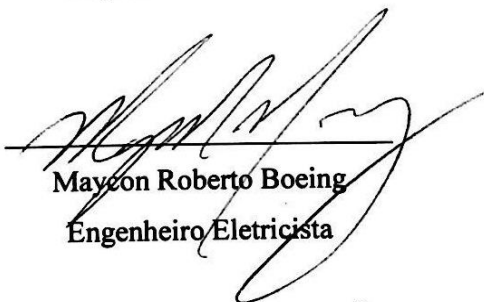
**ESTUDO E VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE UMA MICRO CENTRAL
HIDRELÉTRICA (MCH) PARA UMA PROPRIEDADE RURAL NA CIDADE
DE CASCAVEL - PR**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Elétrica, do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, sob a orientação do Professor Ewerson Luiz Poisk.

BANCA EXAMINADORA



Orientador Ewerson Luiz Poisk
Engenheiro Eletricista



Maycon Roberto Boeing
Engenheiro Eletricista



Mario Elias Carvalho Do Nascimento
Engenheiro de Controle e Automação

Cascavel/PR, 07 de dezembro de 2018

RESUMO

Visando buscar e aumentar o suprimento de energia elétrica do país através da geração distribuída por fonte renováveis, a proposta é aproveitar o potencial dos rios de pequeno e médio porte, presentes em várias propriedades rurais do território brasileiro, para a geração de energia elétrica. Os benefícios trazidos por estes sistemas implicam tanto na descentralização da geração de energia por grandes usinas hidrelétricas, que necessitam de grandes barragens e reservatórios, quanto na solução para o suprimento da demanda cada vez maior de energia pela população. As microcentrais hidrelétricas, por utilizarem de equipamentos menores e menos quantidade de água, causam menos impactos ambientais e podem garantir a autossuficiência energética da propriedade que são instaladas, podendo ainda, gerar créditos pela produção de energia em excedente junto a concessionária a serem utilizados em momentos de não geração, durante a manutenção das máquinas, por exemplo. Mediante as características deste sistema, foram coletados dados de altura de vazão do rio São Salvador da propriedade estudada calculando o potencial máximo de geração de energia elétrica mensal, definindo ainda a potência máxima do gerador que pode ser instalado, que é de 54,37 kW, bem como a escolha da turbina que melhor se enquadra nas características do local.

Palavras-chave: Geração distribuída. Microcentrais hidrelétricas. Geração.

ABSTRACT

Aiming to seek and increase the country's electricity supply through distributed generation by renewable source, the proposal is to take advantage of the potential of small and medium-sized rivers, present in several rural properties of the Brazilian territory, for the generation of electric energy. The benefits brought about by these systems imply both the decentralization of power generation by large hydroelectric plants, which require large dams and reservoirs, and the solution to supply the population's increasing energy demand. Hydroelectric power plants, because they use smaller equipment and less water, cause less environmental impacts and can guarantee the energy self-sufficiency of the property they are installed, and may also generate credits for the production of energy in surplus with the concessionaire to be used at times during the maintenance of the machines, for example. By means of the characteristics of this system, data of height of flow of the São Salvador river of the studied property were collected calculating the maximum potential of generation of monthly electric power, defining also the maximum power of the generator that can be installed, that is of 54,37 kW , as well as the choice of turbine that best fits the characteristics of the site.

Keywords: Distributed generation. Hydroelectric power plants. Generation.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 2.1 – Cálculo do desnível bruto do terreno	Erro! Indicador não definido.	3
Equação 2.2 – Estimativa da vazão de um leito pelo método do flutuador	Erro! Indicador não definido.	3
Equação 2.3 – Cálculo da velocidade	Erro! Indicador não definido.	
Equação 2.4 – Cálculo da área de cada seção.....	Erro! Indicador não definido.	5
Equação 2.5 – Cálculo da área média da seção transversal	Erro! Indicador não definido.	5
Equação 2.6 – Cálculo da potência de geração instalada	Erro! Indicador não definido.	
Equação 2.7 – Energia gerada em um determinado período de tempo	Erro! Indicador não definido.	6

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte	10
Figura 2.2 – Participação de Renováveis na Matriz Energética	12
Figura 2.3 – Perfil de uma Usina Hidrelétrica de Energia	13
Figura 2.4 – Etapas de Implantação de aproveitamentos hidroelétricos	14
Figura 2.5 – Gráfico para escolha do tipo de turbina relacionada a queda bruta e a vazão	15
Figura 2.6 – Esquemático de uma turbina Pelton.....	16
Figura 2.7 – Esquemático de uma turbina Francis de eixo vertical.....	17
Figura 2.8 – Esquemático de uma turbina Kaplan vertical	18
Figura 2.9 – Esquemático de uma turbina de fluxo cruzado	19
Figura 2.10 – Procedimentos e etapas de acesso	22
Figura 2.11 – Marcações no trecho do rio a ser medido	24
Figura 3.1 – Localização da propriedade a ser estudada	27
Figura 3.2 – Vista inferior das quedas do rio da propriedade	28
Figura 3.3 – Vista superior das quedas do rio da propriedade	28
Figura 3.4 – RDR e transformador que atende a propriedade	29
Figura 3.5 – Marcações das cotas e esquemático do canal a ser desviado	31
Figura 3.6 – Estacas fixadas às margens amarradas com uma corda transversal ao leito	33
Figura 3.7 – Esquemático das marcações no leito do rio	33
Figura 3.8 – Momento após o flutuador cruzar a primeira corda.....	34
Figura 4.1 – Gráfico para a escolha da turbina	37

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Capacidade de geração elétrica brasileira.....	11
Quadro 2.2 – Classificação quanto à potência e a queda das PCH's	21
Quadro 3.1 – Histórico de consumo de energia elétrica da propriedade	30
Quadro 3.2 – Tempos de descida de cada flutuador	34
Quadro 3.3 – Medições de profundidade	35

LISTA DE ABREVIATURAS

BEM	Balanco Energético Nacional
BIG	Balanco de Informações de Geração
CGH	Centrais Geradoras Hidrelétrica
EOL	Unidades de Geradores Eólicos
GWh	Giga Watt hora
IBGE-PPP	Posicionamento por Ponto Preciso ou Posicionamento Absoluto Preciso
km ²	Quilômetros quadrados
kg/m ³	Quilograma por metro cúbico
kV	Quilo Volt
kWh	Quilo Watt hora
L/s	Litros por segundo
m	Metros
m/s	Metros por segundo
m ³ /s	Metros cúbicos por segundo
m ²	Metros quadrados
MCH	Microcentral Hidrelétrica
MW	Mega Watt
PCH	Pequenas Centrais Hidrelétricas
RDR	Redes de Distribuição Rural
SIRGAS2000	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
UHE	Usinas Hidrelétricas de Energia
V	Volt

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
2.1 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA	10
2.2 ENERGIAS RENOVÁVEIS	11
2.3 ENERGIA HIDRÁULICA	12
2.3.1 UHE – Usinas Hidrelétricas de Energia	13
2.3.1.1 Turbina Pelton	15
2.3.1.2 Turbina Francis	16
2.3.1.3 Turbina Kaplan	17
2.3.1.4 Turbina Michael-Banki	18
2.3.2 PCH – Pequenas Centrais Hidrelétricas	19
2.3.2.1 Quanto à capacidade de regularização do reservatório	20
2.3.2.2 Quanto ao sistema de adução	20
2.3.2.3 Quanto à potência instalada e quanto à queda de projeto	20
2.3.3 CGH – Centrais Geradoras Hidrelétricas	21
2.3.3.1 Determinação da altura de queda disponível	22
2.3.3.2 Estimativa da vazão do curso d'água	23
3 METODOLOGIA	27
3.1 DADOS DA PROPRIEDADE RURAL	27
3.2 DIMENSIONAMENTO	30
3.2.1 Determinação das cotas do rio	30
3.2.2 Determinação da vazão do rio	32
3.2.2.1 Determinação da velocidade da água	32
3.2.2.2 Determinação da área média da seção transversal	35
3.2.2.3 Determinação da vazão pelo método do flutuador	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
4.1 ESCOLHA DA TURBINA	37
4.2 CÁLCULO DA MÁXIMA POTÊNCIA DE GERAÇÃO INSTALADA	38
4.3 CÁLCULO DO POTENCIAL MÁXIMO DE GERAÇÃO	38
5 CONCLUSÃO	40

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	40
REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

Durante o século XX os combustíveis fósseis como o carvão mineral e o petróleo impulsionaram o crescimento da economia mundial, porém, no século atual, a necessidade do desenvolvimento sustentável na produção de energia torna-se uma nova realidade, e a geração a partir de fontes renováveis, como a energia hídrica, ganham importância (ANEEL, 2008).

Para se construir uma grande usina hidrelétrica é necessário um processo de aprovação junto aos órgãos competentes, que geralmente leva tempo e engloba vários fatores conflitantes, como o remanejamento de populações atingidas pelo alagamento do reservatório, a supressão da vegetação nativa, mudança de habitat dos animais nativos entre outros, encarecendo muito a construção de grandes usinas (JUNIOR, 2010).

Dentre os benefícios que a micro e mini geração distribuída podem proporcionar ao sistema elétrico, destacam-se o baixo impacto ambiental, a redução no carregamento das redes, a minimização das perdas e a diversificação da matriz energética, tornando-as atrativas e economicamente viáveis (ANEEL, 2018).

No estado do Paraná, a tarifa convencional cobrada pela COPEL (Companhia Paranaense de Energia) por kWh consumido tem valores diferenciados. Moradores que residem na área rural (subgrupo B2) pagam mais barato pela energia que moradores da área urbana (subgrupo B1).

O trabalho teve como tema analisar a viabilidade técnica de uma microcentral hidrelétrica, com o intuito de aproveitar o potencial hídrico do rio São Salvador em uma propriedade rural e estudar a melhor forma de maximizar a geração de energia, de acordo com as características do local, propondo a implementação de um sistema de geração hídrica de energia elétrica, para atender a demanda de energia de algumas residências instaladas na propriedade rural analisada.

Logo, esse trabalho tem por finalidade analisar a construção da MCH visando a autossuficiência energética da propriedade, contribuindo assim, para o sistema energético brasileiro como um todo e, ao mesmo tempo, permitindo explorar mais a fundo a área de projetos de microcentrais hidrelétricas no âmbito da geração distribuída.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

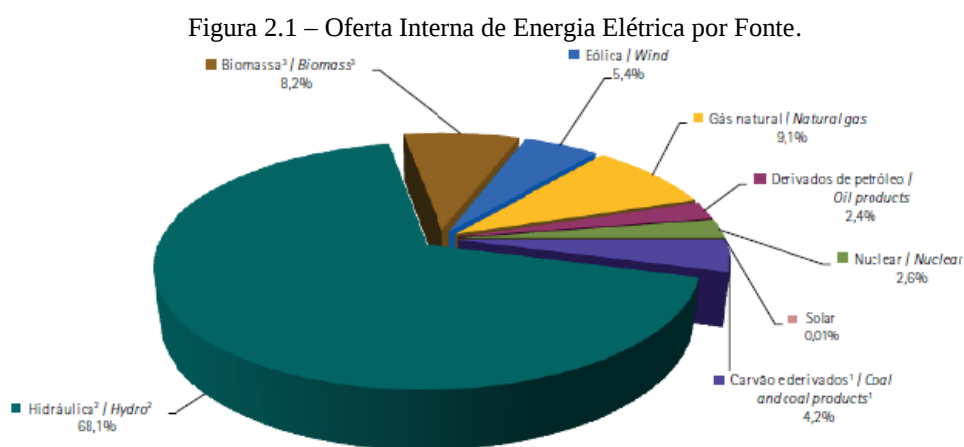
O Brasil, com quase 8,5 milhões de quilômetros quadrados e mais de 7 mil quilômetros de litoral, obtém um dos maiores e melhores potenciais energéticos do mundo. Os potenciais hidráulico, da irradiação solar, da biomassa e da força dos ventos, por serem abundantes, poderiam garantir a auto-suficiência energética do país (ANEEL, 2002).

Com um recuo de 3,6% na economia de 2015 para 2016, a Oferta Interna de Energia (OIE) ficou em 288,3 milhões de tep (toneladas de petróleo), retraindo 3,8% em relação a 2015, reflexo da queda de 5,3% no consumo do setor energético (BRASIL, 2017).

Segundo BEN, em 2016 a micro e mini geração juntas somaram 72,4 MW de potência instalada, com destaque para a fonte solar, responsável por 56,9 MW. Nesse mesmo período, a produção de eletricidade a partir da fonte eólica aumentou 54,9%, chegando a 33.489 GWh contra 21.626 GWh produzidos em 2015 (ANEEL, 2017.a).

O Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável. As fontes renováveis representam 81,7% da oferta interna total, resultantes da soma dos montantes referentes à produção nacional mais as importações, também de origem renovável. A energia hidráulica se destaca, pois corresponde a 68,1% desse montante (ANEEL, 2017.a).

A figura 2.1 apresenta o percentual de geração das fontes renováveis e não renováveis.



FONTE: ANEEL, 2017.

Os 4.744 empreendimentos em operação, segundo o Banco de Informações de Geração, BIG, somam 158.956.762 kW de potência instalada e fiscalizada, conforme dados organizados na tabela 2.1, sendo previsto adição de 17.165.878 kW na capacidade de geração do País nos próximos anos (ANEEL, 2018).

Quadro 2.1– Capacidade de geração elétrica brasileira.

Empreendimentos em Operação				
TIPO	QUANTIDADE	POTÊNCIA OUTORGADA (kW)	POTÊNCIA FISCALIZADA (kW)	%
CGH	673	639.291	641.527	0.4
CGU	1	50	50	0
EOL	522	12.813.339	12.790.543	8.05
PCH	427	5.063.549	5.039.283	3.17
UFV	1.881	1.256.124	1.246.446	0.78
UHE	220	101.895.610	95.794.468	60.26
UTE	3.008	43.188.169	41.454.445	26.08
UTN	2	1.990.000	1.990.000	1.25
TOTAL	6.734	166.846.132	158.956.762	100

Os valores de porcentagem são referentes a Potência Fiscalizada. A Potência Outorgada é igual a considerada no Ato de Outorga. A Potência Fiscalizada é igual a considerada a partir da operação comercial da primeira unidade geradora.

FONTE: Adaptada de ANEEL, 2018.

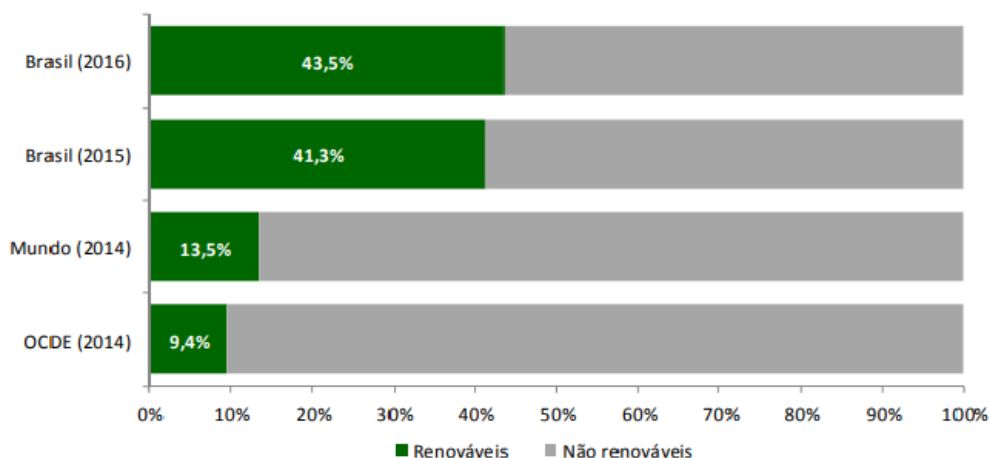
Do montante de potência instalada, destacam-se as UHE (Usinas Hidrelétricas de Energia) e as unidades de geradores eólicas (EOL), que como fontes renováveis contribuem de maneira significativa para o sistema energético brasileiro.

2.2 ENERGIAS RENOVÁVEIS

Fontes de energia renováveis são aquelas que contam com recursos não esgotáveis, ou seja, fontes capazes de se manter disponíveis por um longo prazo, contando com recursos que se regeneram ou que se mantêm ativos permanentemente (PENA, 2014).

Segundo BEN em 2016, a participação de renováveis na Matriz Energética Brasileira manteve-se entre as mais elevadas do mundo, com pequeno crescimento devido particularmente à queda da oferta interna de petróleo e derivados e expansão da geração hidráulica, representados na figura 2.2 (ANEEL, 2017.a).

Figura 2.2 – Participação de Renováveis na Matriz Energética.



FONTE: ANEEL, 2017.a.

Mesmo com o pouco crescimento de 2015 para 2016, o Brasil possui grande potencial para gerar ainda mais energia a partir de fontes renováveis, como por exemplo a energia solar, com geração a partir dos raios solares, e a energia hidráulica, por meio de turbinas instaladas nos diversos rios do país.

2.3 ENERGIA HIDRÁULICA

Com um volume estimado de 1,36 bilhão de quilômetros cúbicos (km³), a água é o recurso natural mais abundante na Terra, ocupando cerca de 2/3 da superfície do planeta e, quando usada como fonte de geração de energia, não contribui para o aquecimento global, sério problema ambiental na atualidade (ANEEL, 2008).

Para produzir a energia hidráulica, segundo Atlas de Energia Elétrica do Brasil (ANEEL, 2008, p.50), “é necessário integrar a vazão do rio, a quantidade de água disponível em determinado período de tempo e os desníveis do relevo, sejam eles naturais, como as quedas d’água, ou criados artificialmente”.

Com exceção às grandes usinas hidrelétricas, que atendem ao vasto mercado, há também a participação de pequenas centrais geradoras, que contribuem para o sistema e estão situadas em propriedades rurais, onde se aproveitam o potencial dos rios de pequeno porte e a força cinética das águas para a geração de energia (CUORE, 2009).

A potência em kW instalada determina o porte da central geradora para fins de outorga, regulação e fiscalização. Podem ser classificadas como Centrais Geradoras Hidrelétrica (CGH),

Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) e Usinas Hidrelétricas de Energia (UHE) (ANEEL, 2017.b).

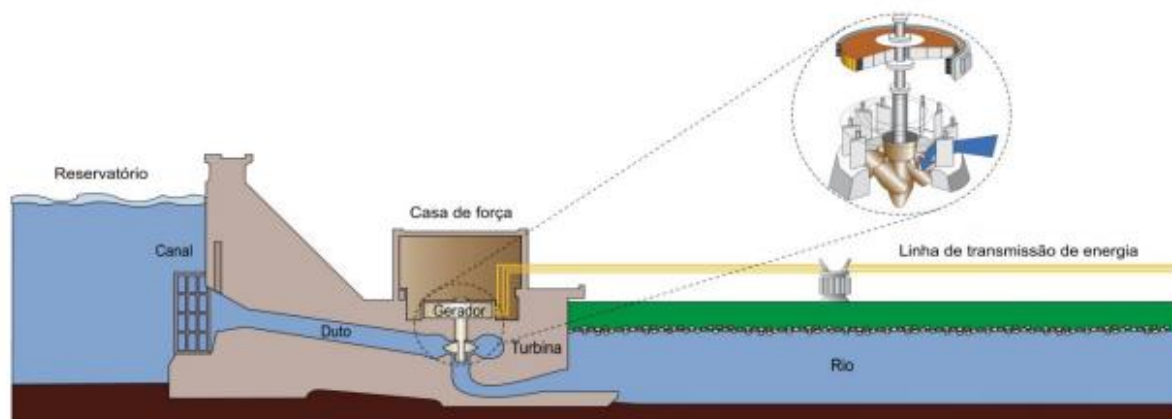
2.3.1 UHE – Usinas Hidrelétricas de Energia

Usinas Hidrelétricas de Energia são empreendimentos que possuem mais de 30 MW de potência instalada, conforme classificação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2008) e reservatórios com área superior a 13 km², conforme a Resolução Normativa N° 786/2017 (ANEEL, 2017.c).

De modo simplificado, uma usina hidrelétrica é composta por barragem, sistema de captação e adução de água, casa de força, comportas e vertedouro, conforme representado da figura 2.3, sendo possível verificar, em perfil, a disposição dos elementos que a compõe (ANEEL, 2008).

Quando não se tem um desnível favorável, é necessário elevar o nível da água a montante através de barragens, formando um lago artificial conhecido como reservatório, garantindo a diferença de potencial (TOLMASQUIM, 2005).

Figura 2.3 – Perfil de uma Usina Hidrelétrica de Energia.



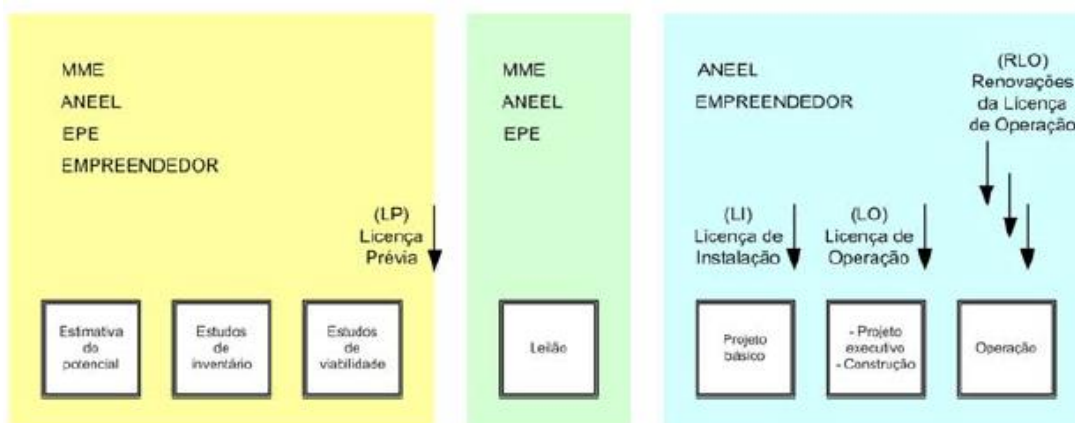
FONTE: Atlas de Energia Elétrica do Brasil, ANEEL, 2008.

Para o dimensionamento de uma usina, embora complexo, deve-se encontrar parâmetros de projeto que maximizem a diferença entre os benefícios e os custos de execução da obra. Os custos envolvem aquisição de terras, eventuais remoções de pessoas e vilarejos, construção das estruturas físicas, compra de equipamentos elétricos, medidas mitigatórias entre outras. Já os benefícios equivalem, principalmente, aos ganhos financeiros e energéticos que a obra trará ao sistema ao qual ela vai integrar-se (FILHO, 2003).

Segundo as Instruções para Estudos de Viabilidade (ELETROBRÁS, 1997), para a implantação de um aproveitamento hidrelétrico, deve-se realizar previamente: a estimativa do potencial hidrelétrico, estudos de inventário elétrico, estudos de viabilidade, projeto básico e por fim o projeto executivo.

Com a finalização da obra, têm-se o enchimento do reservatório e, para dar início a operação, é necessário a obtenção da Licença de Operação (LO) (ELETROBRÁS, 2007). A figura 2.4 organiza as etapas citadas em ordem linear, que devem ser seguidas na para a construção de uma usina hidrelétrica.

Figura 2.4 – Etapas de Implantação de aproveitamentos hidroelétricos.

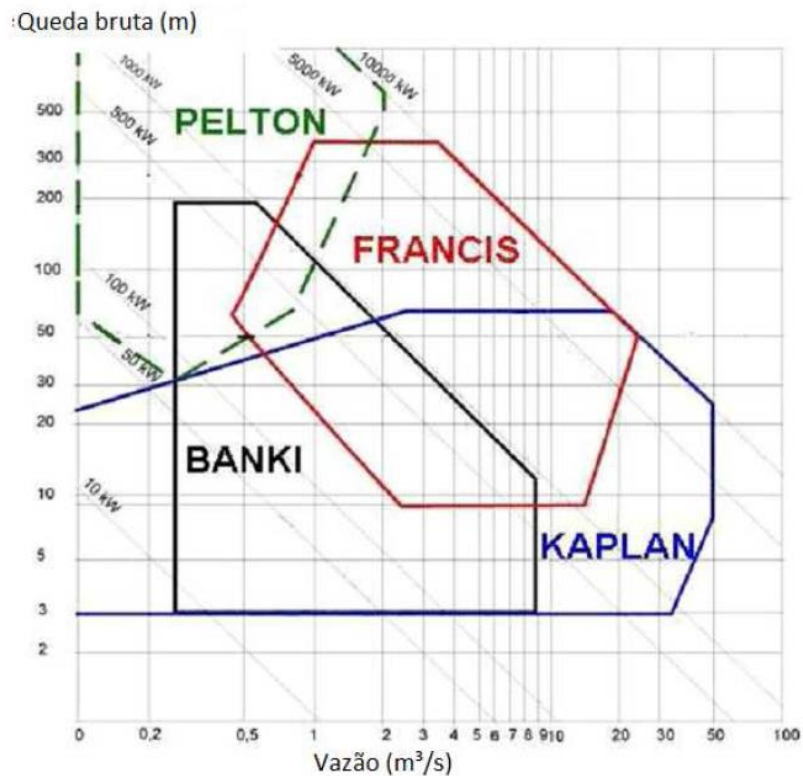


FONTE: Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas, ELETROBRÁS, 2007.

Várias informações são utilizadas para dimensionamento da turbina a ser utilizada, como a potência instalada inicial, a queda líquida máxima, rendimento médio da turbina e do gerador, temperatura média da água no verão entre outros (ELETROBRÁS, 2007).

Para cada instalação o modelo mais adequado leva em conta fatores de queda e vazão, sendo possível definir um gráfico com o campo típico de aplicação para cada turbina, conforme representado no gráfico da figura 2.5 (MERIGUE, 2013).

Figura 2.5 – Gráfico para escolha do tipo de turbina relacionada a queda bruta e a vazão.



Fonte: MERIGUE, 2013.

Para quedas mais elevadas com menos vazão, a turbina indicada é a do tipo Pelton, porém, para a mesma vazão ainda é indicada a turbina do tipo Michael-Banki, muito utilizada em micro e minigerações em propriedades rurais. Para maiores vazões, normalmente grandes usinas, recomenda-se a utilização de turbinas do tipo Francis e Kaplan. O gráfico é representativo, pois dependendo das condições do local pode-se instalar variações dessas turbinas, podendo obter resultados com grande desempenho.

Ainda, existem várias particularidades que delimitam o uso e instalação dessas turbinas, direcionando-as para um tipo de geração diferente, como por exemplo a variação da pressão hidrostática, sendo elas de ação e reação. As turbinas mais utilizadas nas gerações hidráulicas estão destacadas a seguir.

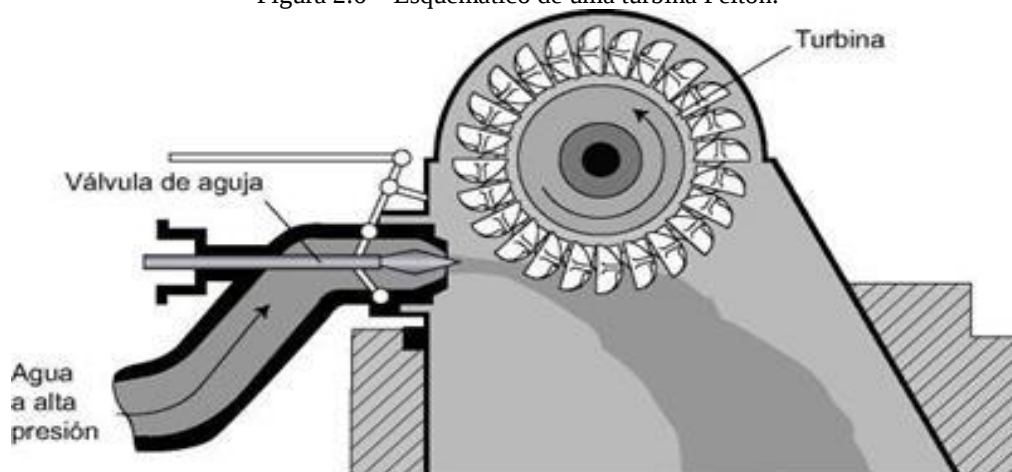
2.3.1.1 Turbina Pelton

As turbinas Pelton são indicadas para altas quedas, entre 150 e 1500 metros, e utilizam a velocidade do jato de água para dar movimento de rotação ao rotor. Este, por sua vez, opera em uma velocidade de rotação elevada, conferindo-lhe características bastante distintas das demais turbinas (GONÇALVES, 2007).

Segundo HARVEY (1998), para mini e microgeração, entretanto, a turbina Pelton pode ser usada para baixas quedas, em alguns casos até menos de 20 metros, possibilitando a instalação em várias propriedades que possuem pequenos rios em desníveis.

As principais partes que constituem a turbina Pelton são o Distribuidor, o Bico Injetor, o qual possui uma agulha na ponta, para o controle da vazão e pressão da água a ser direcionada para as pás da turbina; o Rotor e seu Sistema de Travamento e a Carcaça e a Câmara de descarga. A figura 2.6 representa em perfil as partes interligadas que compõem a turbina.

Figura 2.6 – Esquemático de uma turbina Pelton.



FONTE: Portal da Engenharia (portaldaengenharia.com) acesso em 17 set. 2018.

Classificadas como turbinas de ação, as turbinas Pelton podem ser de eixo vertical ou horizontal, e ter mais de um rotor e múltiplos bicos injetores, dependendo do arranjo da estrutura no local de instalação.

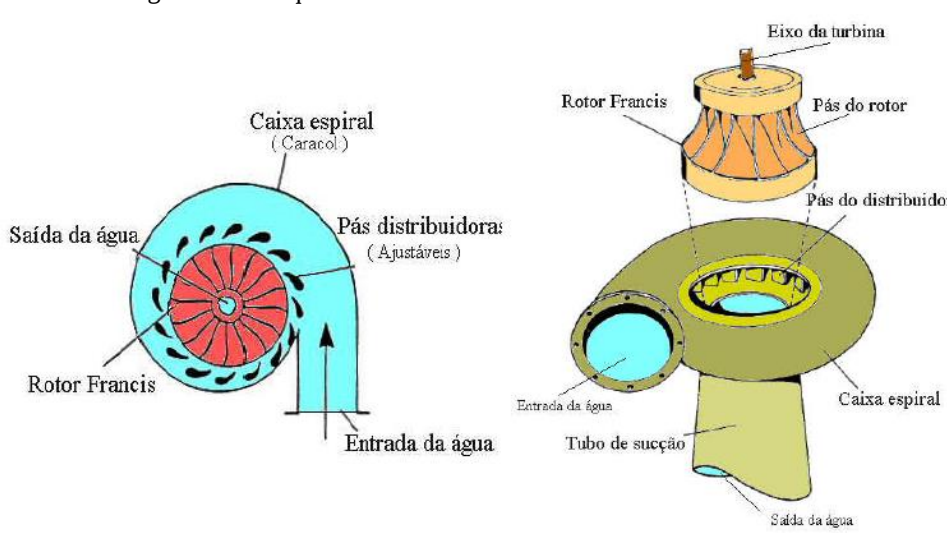
2.3.1.2 Turbina Francis

Indicadas para quedas de 15 a 250 metros, a turbina Francis é classificada como turbina de reação sendo amplamente utilizada nas PCH's e usinas brasileiras, pois possui boas características de desempenho. Existem modelos de turbinas com caixa aberta e caixa espiral, fabricada em aço e conectada a um conduto forçado em seu lado montante, e ainda com o rotor no eixo horizontal e vertical, variando conforme as características do local de instalação (ELETROBRAS, 2000).

Desenvolvida primeiramente pela empresa J.M. Voith, em 1873 (JUNIOR, 2000), as turbinas de eixo vertical são formadas basicamente pela caixa espiral, conhecida também como caracol, as pás do distribuidor, que são ajustáveis para controle da vazão, o rotor, que também

possui pás e é conectado ao eixo da turbina, e o tubo de sucção, normalmente imerso, por onde a água é escoada. Essas estruturas podem ser observadas, esquematicamente, na figura 2.7.

Figura 2.7 – Esquemático de uma turbina Francis de eixo vertical.



FONTE: JUNIOR, 2000.

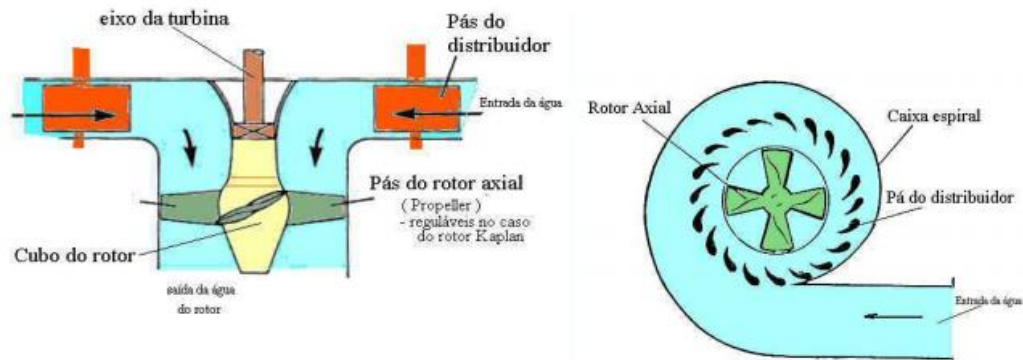
Durante a operação da turbina, a água entra pela caixa espiral de forma radial passando pelas pás diretrizes, as quais guiam o líquido em um ângulo adequado para a entrada das pás do rotor. Após parte da energia da água ser transferida para o rotor, a água deixa a turbina axialmente através do tubo de descarga, retornando ao leito do rio (JUNIOR, 2000).

2.3.1.3 Turbina Kaplan

A turbina do tipo Kaplan é uma variação da turbina axial, assim como a turbina do tipo Bulbo. São indicadas para quedas pequenas em rios de maiores vazões, o que a torna bastante atrativa. Contudo, apresenta o maior custo em relação ao kW instalado, quando comparada com as anteriormente citadas (JUNIOR, 2000).

Semelhante a turbina Francis, a entrada de água se dá de forma radial, através das palhetas de guia, e sai na direção axial, após passar pelas pás do rotor da turbina. O rotor, por sua vez, é semelhante à hélice de um navio, e tem o número de pás diretamente proporcional a altura da queda, podendo chegar a oito pás nas maiores alturas. A figura 2.8 representa o perfil de uma turbina Kaplan.

Figura 2.8 – Esquemático de uma turbina Kaplan vertical.



FONTE: JUNIOR, 2000.

No Brasil, as usinas hidrelétricas de Lajeado, localizada no Tocantins, e a usina hidrelétrica de Porto Estrela, localizada em Minas Gerais, são alguns exemplos de usinas que utilizam turbinas do tipo Kaplan para a geração de energia elétrica.

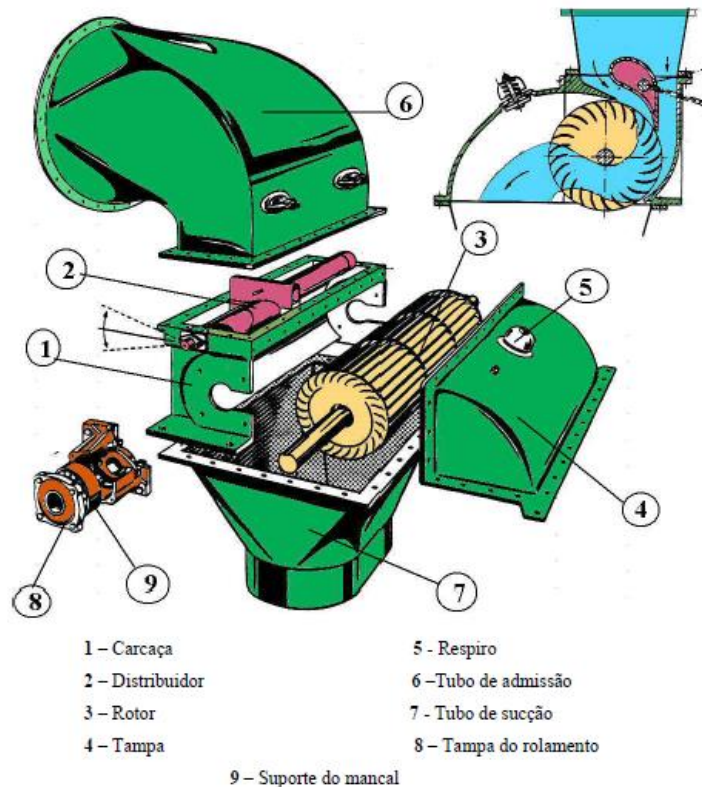
2.3.1.4 Turbina Michael-Banki

A turbina do tipo Michael-Banki é uma turbina de fluxo cruzado, também conhecida como fluxo transversal, sendo classificada como turbina de ação (MERIGUE, 2013). Pode ser utilizada de quedas d'água que variam entre 3 a 100 metros e vazões entre 10 e 1000 litros por segundo.

São caracterizadas pelo rotor em formato de gaiola de esquilo, constituído de dois discos unidos por pás com simples curvatura, envolvido por um injetor periférico. Ao entrar pelo injetor, a água atravessa o rotor cilíndrico transversalmente passando duas vezes pelas pás, garantindo um bom aproveitamento da passagem da água, oferecendo rendimentos entre 60% e 75% (FILHO, 2010).

A figura 2.9 representa o perfil de uma turbina de fluxo cruzado com indicações das partes que a compõe.

Figura 2.9 – Esquemático de uma turbina de fluxo cruzado.



Fonte: Adaptado de OSSBERGER – Turbinenfabrick (1998).

Esse tipo de turbina possui um custo menor de fabricação quando comparada as turbinas do tipo Francis e Kaplan, o que a torna atrativa para a micro e minigeração de energia nas mais diversas propriedades rurais.

2.3.2 PCH – Pequenas Centrais Hidrelétricas

Conforme a Resolução Normativa N° 786/2017 da ANEEL, Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH's) são empreendimentos com potência instalada superior a 3 MW e inferior a 30 MW (megawatt) para fontes hídricas, com reservatórios com área de no máximo 13 km² de área inundada (ANEEL, 2017.c)

A restrição de áreas alagadas e a não necessidade da construção de grandes barragens, faz com que os impactos ambientais das PCH's sejam reduzidos, um dos motivos de estímulo à sua construção (ANEEL, 2003).

No local de instalação de uma PCH deve-se, preferencialmente, existir uma queda natural considerável, para que em conjunto com a barragem proporcione uma queda bruta aproveitável e, ainda, que tenha boas condições de fundação. Para facilitar o transporte, deverá

existir nas redondezas jazidas naturais para extração dos materiais, minimizando possíveis impactos, ambientais e sociais do empreendimento sobre a região (ELETROBRÁS, 2000).

As PCH's podem ser classificadas quanto à capacidade de regularização, quanto ao sistema de adução e quanto à potência instalada e à queda de projeto (ELETROBRÁS, 2000).

2.3.2.1 Quanto à capacidade de regularização do reservatório

De acordo com o Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas (ELETROBRÁS, 2000), podem ser a fio d'água ou de acumulação. Na primeira, despreza-se o volume do reservatório e utiliza-se turbinas que aproveitam a velocidade dos rios para gerar energia (ANEEL, 2008), dispensando estudos de regularização de vazões e facilitando a concepção da tomada d'água. As de acumulação, podem ser com regularização diária, com vazões de estiagem do canal menores que a necessária para atender a demanda do mercado consumidor, e mensal, que permite o projeto apresentar regularização mensal das vazões médias diárias, de acordo com a utilização do reservatório (ELETROBRÁS, 2000).

2.3.2.2 Quanto ao sistema de adução

São considerados dois tipos de adução de PCH's em baixa pressão, um com escoamento livre em canal e o outro por meio de tubulação, ambos com alta pressão em conduto forçado. A topografia e as características do local determinam qual o tipo de adução, sendo a construção do canal usualmente a opção mais economicamente viável (ELETROBRÁS, 2000).

2.3.2.3 Quanto à potência instalada e quanto à queda de projeto

A potência e a altura da queda, quando analisadas juntas, possibilitam uma melhor classificação e, conforme constam no Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas (ELETROBRÁS, 2000), podem ser organizadas em uma tabela, conforme representado na tabela 2.2. A altura da queda reflete na localização da casa de força, ficando mais afastada em centrais com médias e altas quedas, podendo ficar junto a barragem em locais de baixa queda.

Quadro 2.2 – Classificação quanto à potência e a queda das PCH's.

CLASSIFICAÇÃO DAS CENTRAIS	POTÊNCIA - P (kW)	QUEDA DE PROJETO - H_d (m)		
		BAIXA	MÉDIA	ALTA
MICRO	$P < 100$	$H_d < 15$	$15 < H_d < 50$	$H_d > 50$
MINI	$100 < P < 1.000$	$H_d < 20$	$20 < H_d < 100$	$H_d > 100$
PEQUENAS	$1.000 < P < 30.000$	$H_d < 25$	$25 < H_d < 130$	$H_d > 130$

FONTE: Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas, ELETROBRÁS, 2000.

Para cada tipo de geração tem-se um projeto diferente, sendo que em desníveis mais elevados normalmente é necessário guiar a água por meio de condutos forçados da barragem até a casa de força, onde se encontram os equipamentos como a turbina e o gerador.

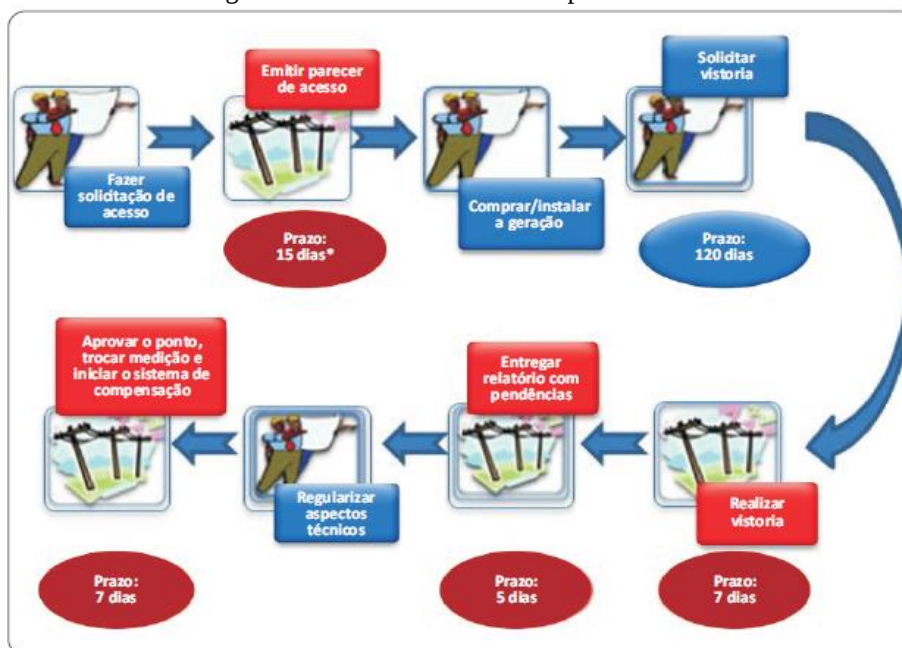
2.3.3 CGH – Centrais Geradoras Hidrelétricas

Centrais Geradoras Hidrelétricas são empreendimentos com potência instalada inferior a 3 MW e podem ser subdivididas em microgeração, com potência instalada menor ou igual a 75 kW, e minigeração, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW, para fontes hídricas (ANEEL, 2017.c).

Segundo o Caderno Temático de Micro e Minigeração Distribuída (ANEEL, 2016) “para que a central geradora seja caracterizada como micro ou minigeração distribuída, são obrigatórias as etapas de solicitação e de parecer de acesso”

De forma simplificada, representado na figura 2.10, estão dispostas cronologicamente o passo a passo as etapas que devem ser seguidas, tanto para o consumidor quanto pela concessionária, para a viabilização de acesso à rede (ANEEL, 2016).

Figura 2.10 – Procedimentos e etapas de acesso.



FONTE: Caderno Temático de Micro e Minigeração Distribuída, ANEEL, 2016.

As etapas em vermelho são de responsabilidade da concessionária, já as etapas em azul são de responsabilidade do empreendedor, responsável pela construção e implantação do sistema de acordo com as normas exigidas pela concessionária.

Com relação à Tarifa Convencional (Resolução ANEEL Nº 2.402) cobrada pela COPEL (Companhia Paranaense de Energia) em vigência desde 24/06/2018, para o subgrupo B1 que são residências da área urbana, o valor é de 0,76897 por kWh consumido. Já as residências rurais enquadradas no subgrupo B2, pagam 0,53827 pelo mesmo KWh consumido, onde normalmente estão localizadas as micro e mini centrais hidrelétricas.

Para elaborar um projeto de uma microcentral hidrelétrica, é necessário calcular a potência disponível e com esse valor dimensionar os equipamentos necessários e, para isso, é necessário calcular a altura da queda e a vazão do curso d'água (FILHO, 2010).

2.3.3.1 Determinação da altura de queda disponível

Existem vários métodos para determinar a altura da queda disponível no terreno, desde os mais simples, como o método do nível de mangueira e o método das duas réguas, até os mais precisos, com a utilização de aparelhos topográficos de precisão que permitem mapear os desníveis com cotas geo-referenciadas em relação ao nível do mar (FILHO, 2010).

Para encontrar a altura disponível no terreno para o cálculo do potencial de geração deste trabalho, será utilizado um aparelho topográfico de precisão, o GeoMax ZENITH 25, que

registra as cotas em tempo real do terreno em relação ao nível do mar. Essas cotas são georeferenciadas e foram ajustadas através do Serviço de Posicionamento por Ponto Preciso (IBGE-PPP).

O IBGE-PPP é um serviço gratuito para pós-processamento de dados do Sistemas Globais de Navegação por Satélite GNSS, o qual permite a determinação de coordenadas referenciadas ao sistema geodésico brasileiro SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), permitindo aos usuários com receptores GPS obterem coordenadas de precisão dos terrenos (IBGE, 2017).

Através da equação (2.1) pode-se calcular a altura do desnível bruto do terreno conhecendo os valores da maior e menor cota.

$$H_M = H_1 - H_2 \quad (2.1)$$

Onde:

H_M = Altura bruta do desnível do terreno, em m;

H_1 = Cota da parte mais elevada do terreno, em m;

H_2 = Cota da parte mais inferior do terreno, em m.

2.3.3.2 Estimativa da vazão do curso d'água

Para o cálculo da potência de uma microcentral, além da altura da queda, é necessário conhecer a vazão do curso d'água. Existem vários métodos para tal, sendo que, para fins de dimensionamento simplificado os métodos do vertedor ou do flutuador são os mais recomendados (FILHO, 2010).

Ainda, segundo FILHO (2010), a vazão do curso d'água pode ser estimado através da equação (2.2).

$$Q = A_m \times V_m \times c \quad (2.2)$$

Onde:

Q = Vazão do curso d'água estimada, em m³/s;

A_m = Área média da seção transversal do trecho escolhido, em m²;

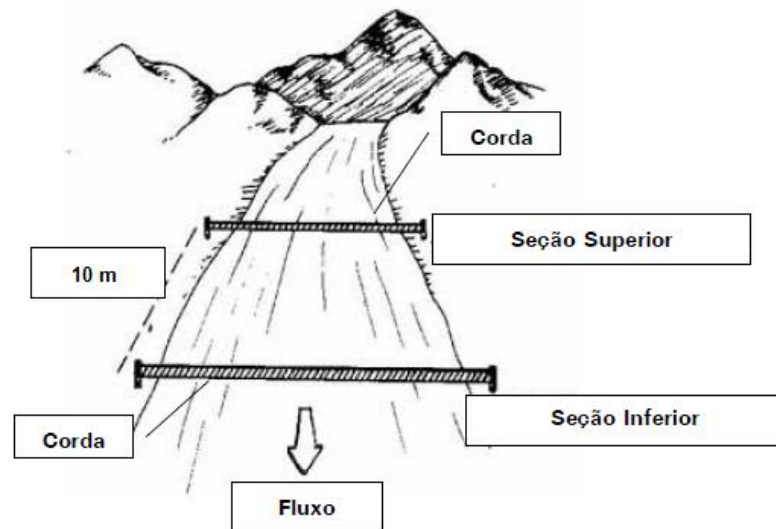
V_m = Velocidade média da água no trecho escolhido, em m/s;

c = Coeficiente adimensional, referente à rugosidade das paredes laterais do leito do rio.

O coeficiente adimensional pode variar entre 0,6 e 0,8 de acordo com as condições das margens do rio analisado. Para rios com margens mais limpas e uniformes utiliza-se o coeficiente 0,8 e, quando o oposto, utiliza-se 0,7 e 0,6 conforme for aumentando a quantidade de vegetação e irregularidades às margens a ao fundo do leito do rio.

Para o cálculo da velocidade do rio, deve-se escolher um trecho reto e o mais limpo possível, para que no início desse trecho sejam cravadas duas estacas, uma em cada margem do rio, para depois amarrar uma corda entre elas, no sentido transversal ao curso d'água. Há 10 metros de distância a partir de uma estaca e paralela à margem, crava-se mais duas estacas e amarra-as também com uma corda, conforme representado na figura 2.11 (FILHO, 2010).

Figura 2.11 – Marcações no trecho do rio a ser medido.



FONTE: Adaptado de PALHARES, 2007.

Com as marcações feitas, deve-se lançar a água o flutuador, objeto plástico ou outro qualquer, antes da corda superior e cronometrar o tempo que o flutuador demora a cruzar a corda na parte inferior. Esse procedimento deve ser repetido três vezes, com o flutuador vazio e parcialmente cheio.

Obtendo a média geral do tempo que o objeto leva a cruzar as cordas, utiliza-se a equação (2.3) para o cálculo da velocidade média da água.

$$V_m = \frac{\text{distância entre as cordas}}{\text{média do tempo}} \quad (2.3)$$

Onde:

V_m = Velocidade média da água no trecho escolhido, em m/s.

Para o cálculo da área da seção transversal do curso d'água, é necessário calcular a área da seção superior e inferior de trecho do rio, através da equação (2.4) (FILHO, 2010).

As medidas de profundidade devem ser feitas ao longo de cada corda, igualmente espaçadas, a fim de garantir uma boa média. O somatório das medições é então dividido pelo número de leituras realizadas mais um (soma-se 1 ao cálculo da média pela necessidade de se considerar a profundidade zero) (PALHARES, 2007).

$$A_{1,2} = \frac{\text{Somatório das medidas}}{(n + 1)} \times L_{1,2} \quad (2.4)$$

Onde:

$A_{1,2}$ = Área da primeira e segunda seção do curso d'água, em m²;

$L_{1,2}$ = Largura da primeira e segunda seção do curso d'água, em m;

n = Número total de leituras de profundidade realizadas, adimensional.

A área média a ser utilizada no cálculo da vazão é a média entre as áreas das duas seções transversais do rio, e pode ser obtida conforme a equação (2.5).

$$A_m = \frac{A_1 + A_2}{2} \quad (2.5)$$

Onde:

A_m = Área média final da seção transversal do curso d'água, em m².

Para o cálculo da vazão do rio, então, basta substituir os valores encontrados de velocidade do rio, a área média e o coeficiente adimensional na equação 2.2.

Com os dados fundamentais conhecidos do rio, como a vazão e a altura, segundo FARRET (1999), para turbinas modernas a potência a ser gerada pode ser calculada através da equação (2.6).

$$P_t = Q \times H \times g \times \rho \times N \quad (2.6)$$

Onde:

P_t = Potência total, em W;

Q = Vazão do curso d'água estimada, em m³/s;

H = Altura do desnível da coluna d'água, em m;

g = Gravidade, em m/s²;

ρ = Densidade da água, em kg/m³;

N = Eficiência da turbina, adimensional.

A gravidade e a densidade da água podem ser consideradas constantes sendo que para cada tipo de turbina, o rendimento varia conforme especificações do fabricante e do modo com que a mesma é instalada no local de geração.

Para o cálculo do potencial de geração de uma MCH além da potência instalada é necessário saber por quanto tempo, no período de um mês, a turbina permanecerá em funcionamento e gerando energia, para isso, utiliza-se a equação (2.7), que relaciona essas duas grandezas.

$$E = P \times \Delta t \quad (2.7)$$

Onde:

E = Energia gerada, em kWh;

P = Potência instalada de geração, em W;

Δt = Tempo de funcionamento da turbina, em horas.

O intervalo de tempo a ser considerado para o cálculo do potencial de geração depende de quantas horas por mês a turbina irá gerar energia, resultado na unidade de kWh mensais, pois é a mesma referência que a concessionária de energia utiliza para quantificar a energia consumida pelos usuários.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo são analisadas algumas informações da propriedade com a proposta de implementar um sistema de geração hídrica, mediante o aproveitamento das águas e da queda que o rio do local oferece para uma geração renovável de eletricidade.

Foi realizado um levantamento das cotas de altitude do rio, além de um estudo para o dimensionamento das estruturas necessárias para a geração e a disposição das mesmas no terreno, considerando a média do consumo anual de energia elétrica da propriedade.

3.1 DADOS DA PROPRIEDADE RURAL

A propriedade localiza-se no distrito rural de São Salvador, que pertence a cidade de Cascavel – Paraná, e tem como coordenadas Latitude $25^{\circ}03'18.2''$ (S) e Longitude $53^{\circ}22'36.2''$ (O).

Figura 3.1 – Localização da propriedade a ser estudada.



FONTE: Google Mapas. Acesso em: 28 set. 2018.

A propriedade possui área de 40 hectares, aproximadamente 400.000 m², e está localizada à 15 km da cidade de Cascavel – PR. O rio a ser estudado é denominado de rio São Salvador, representado nas figuras 3.2 e 3.3.

Figura 3.2 – Vista inferior das quedas do rio da propriedade.



FONTE: Autor (2018).

Aos fundos da propriedade têm-se duas quedas d'água em desnível, onde será analisado a possibilidade do aproveitamento do volume de água e do desnível do terreno para a geração hídrica de energia. A figura 3.3 ainda mostra a dimensão da pequena cachoeira e do perfil do terreno.

Figura 3.3 – Vista superior das quedas do rio da propriedade.



FONTE: Autor (2018).

Atualmente as construções existentes na propriedade são atendidas por um transformador conectado à rede da Copel, concessionária que distribui de energia no estado do Paraná, conforme representado na figura 3.4.

Figura 3.4 – RDR e transformador que atende a propriedade.



FONTE: Autor (2018).

A RDR que passa em frente a propriedade é trifásica de 34,5 kV sendo que o transformador que atende a propriedade é monofásico com potência de 15 kVA. Com disjuntor geral bifásico 2#50A (categoria 19 da tabela 2 na norma NTC901100 da COPEL) a propriedade se enquadra no subgrupo B2 da concessionária, que são consumidores enquadrados na Modalidade Tarifária Convencional Rural, atendidos com tensão secundária de 127/254V.

Na tabela 3.1 estão organizados os valores de energia elétrica consumidos mensalmente nos respectivos meses bem como a média entre eles.

Quadro 3.1 – Histórico de consumo de energia elétrica da propriedade.

Mês/Ano	Consumo [kWh]
10/2017	328
11/2017	238
12/2017	227
01/2018	124
02/2018	204
03/2018	168
04/2018	163
05/2018	189
06/2018	458
07/2018	198
08/2018	183
09/2018	201
Média do Consumo	223,41

FONTE: Autor (2018).

Foram levantados os valores mensais do consumo de energia da propriedade durante um ano. Como as atividades desenvolvidas na propriedade são diversificadas não se tem um padrão de consumo linear mensal, porém, a média de 223,41 kWh está dentro do esperado e reflete bem o perfil dos moradores do local.

3.2 DIMENSIONAMENTO

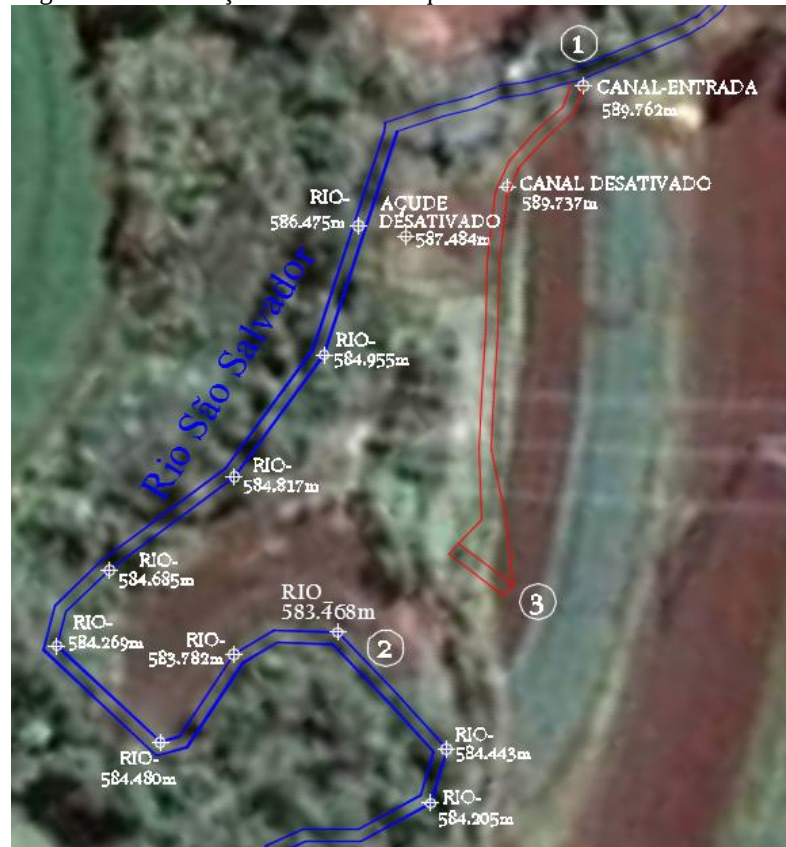
A finalidade deste subcapítulo é realizar o mapeamento do rio da propriedade. O primeiro passo será fazer o levantamento das cotas e desníveis do rio São Salvador ao longo do trecho em que se estuda o aproveitamento para a geração elétrica. Será feita também a medição da vazão no mesmo trecho para a escolha do conjunto turbina-gerador.

3.2.1 Determinação das cotas do rio

Para se determinar os desníveis do terreno, utilizou-se um aparelho topográfico de precisão, o GeoMax ZENITH 25, que registra as cotas em tempo real do terreno em relação ao nível do mar.

Foram coletados vários pontos ao longo do leito e às margens do rio assim como nos possíveis lugares para a captação e desvio da água e para a instalação do conjunto turbina gerador. A figura 3.5 representa os valores obtidos com as medições bem como o local em que elas foram realizadas. A cor azul na figura representa o leito atual do rio e em vermelho o canal que pretende-se reativar para desviar a água até o local de instalação da turbina.

Figura 3.5 – Marcações das cotas e esquemático do canal a ser desviado.



FONTE: Autor (2018).

Como o terreno não apresenta um desnível muito elevado, estuda-se captar a água antes da primeira queda d'água no ponto 1 (cota 589,762 m) e conduzi-la por um canal desativado ao lado do leito do rio, até o ponto 3, onde planeja-se construir uma pequena barragem para canalizar a água em condutos forçados até a casa de máquinas, a ser construída no ponto 2 (cota 583,468 m). Através da equação (2.1), tem-se a estimativa do desnível bruto aproximado do terreno.

$$H_M = H_1 - H_2 \quad (2.1)$$

Considerando H_1 como a cota na entrada do canal de captação de água e H_2 a cota do local a ser construído a casa de máquinas, substituindo na equação (2.1) tem-se a altura bruta do desnível do terreno H_M , em metros.

$$H_M = 589,762 - 583,468 = 6,294 \text{ m}$$

Como o resultado de 6,294 metros é o desnível bruto estimado, para efeito de cálculo do potencial de geração considera-se a altura disponível final de 5 metros, a fim de desconsiderar possíveis perdas ou erros nas medições.

3.2.2 Determinação da vazão do rio

Por se tratar de um método menos complexo e prático de ser realizado, optou-se pelo método do flutuador para estimar a vazão do rio São Salvador no local onde estuda-se instalar a microcentral hidrelétrica. Para o cálculo da vazão, é necessário conhecer a velocidade média da água no leito do rio bem como a área média da seção transversal do trecho escolhido para as medições

3.2.2.1 Determinação da velocidade da água

Para se determinar a velocidade média da água, escolheu-se um trecho com a maior linearidade possível dentro dos limites da propriedade. Primeiramente, foram cravadas duas estacas de madeira, sendo uma em cada margem do rio e amarrada uma corda entre elas, no sentido transversal ao curso da água, conforme representado na figura 3.6.

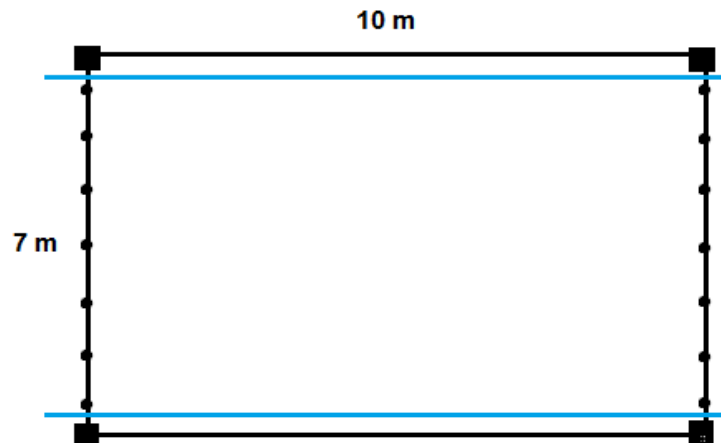
Figura 3.6 – Estacas fixadas às margens amarradas com uma corda transversal ao leito.



FONTE: Autor (2018).

Posteriormente, há uma distância de 10 metros, foram cravadas mais duas estacas e novamente amarrada uma corda entre elas. Logo, as quatro estacas ficaram dispostas conforme representado na figura 3.7.

Figura 3.7 – Esquemático das marcações no leito do rio.



FONTE: Autor (2018).

O objeto flutuador escolhido foi um recipiente plástico (garrafa *pet*) com volume de 2,5 litros sendo colocado na água há uma distância de aproximadamente 2 metros antes a primeira corda, para que ao passar por baixo da mesma o flutuador já tenha estabilizado a velocidade de deslocamento. Na figura 3.8 está representado o momento após o flutuador cruzar a primeira corda.

Figura 3.8 – Momento após o flutuador cruzar a primeira corda.



FONTE: Autor (2018).

Para uma maior precisão nos resultados, foram realizadas três medidas de tempo para o flutuador vazio, com um terço de água e com dois terços de água. Os respectivos tempos e tempos médios estão organizados na tabela 3.2.

Quadro 3.2 – Tempos de descida de cada flutuador.

	Tempo 1	Tempo 2	Tempo 3	Tempo Médio
Flutuador vazio	38 s	24 s	23 s	28,33 s
Flutuador 1/3	20 s	19 s	18 s	19 s
Flutuador 2/3	23 s	22 s	22 s	22,33 s
			Média Final	23,22 s

FONTE: Autor (2018).

A média final de 23,22 segundos foi obtida fazendo a média aritmética dos tempos médios que cada flutuador demorou para percorrer os 10 metros, ou seja, a contagem foi iniciada quando o flutuador cruzou a primeira corda e finalizada quando cruzou a segunda corda.

Por fim, para o cálculo da velocidade média da água, dividiu-se a distância do trecho entre as duas cordas pelo tempo médio de descida dos flutuadores, conforme representado na equação (2.3).

$$V_m = \frac{\text{distância entre as cordas}}{\text{média do tempo}} \quad (2.3)$$

Considerando a distância percorrida constante de 10 metros e a média do tempo de descida dos flutuadores de 23,22 segundos obtida, tem-se:

$$V_m = \frac{10 \text{ m}}{23,22 \text{ s}} = 0,4306 \text{ m/s}$$

Portanto, têm-se 0,4306 m/s como velocidade média da água no rio, que servirá de base para o cálculo da vazão.

3.2.2.2 Determinação da área média da seção transversal

A área média da seção transversal do rio é a média das duas áreas das seções onde as cordas foram posicionadas, sendo que cada uma delas é obtida pelo produto da largura do rio pela média dos valores medidos de profundidade. Essas medições foram realizadas no mesmo dia e nas mesmas condições do que a velocidade

Como o rio tem 7 metros de largura, foram realizadas sete medições de profundidade ao longo das duas cordas, sendo duas delas às margens e as restantes no leito espaçadas de 1 metro, todas utilizando a mesma régua graduada e seguindo o mesmo padrão.

Todos os valores obtidos bem como a média dos mesmos estão representados na tabela 3.3. Entende-se por Corda 1 a corda esticada na parte superior e, Corda 2, esticada na parte inferior do trecho do rio.

Quadro 3.3 – Medições de profundidade.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	Soma
Corda 1	0,27 m	0,85 m	0,98 m	1,62 m	1,59 m	1,25 m	0,56 m	7,12 m
Corda 2	0,65 m	1,15 m	1,22 m	1,24 m	1,33 m	1,04 m	0,45 m	7,08 m

FONTE: Autor (2018).

Com os valores da soma das profundidades, pode-se calcular as áreas da seção transversal na Corda 1 (A_1) e na Corda 2 (A_2), dividindo a soma dos resultados pelo número de medições mais 1 e multiplicando pela largura do rio, como representados na equação (2.4).

$$A_{1,2} = \frac{\text{Somatório das medidas}}{(n + 1)} \times L \quad (2.4)$$

Para o cálculo da área 1, substitui-se o valor da soma das medições na equação (2.4), que foi de 7,12 metros, tal que:

$$A_1 = \frac{7,12 \text{ m}}{(7 + 1)} \times 7 = 6,23 \text{ m}^2$$

Para o cálculo da área 2, substitui-se o valor da soma das medições na equação (2.4), que foi de 7,08 metros, tal que:

$$A_2 = \frac{7,08 \text{ m}}{(7 + 1)} \times 7 = 6,16 \text{ m}^2$$

Por fim, para o cálculo da área média, faz-se a média aritmética simples entre as áreas da primeira e segunda seção, substituindo os valores encontrados das áreas das seções transversais na equação (2.5).

$$A_m = \frac{6,23 + 6,16}{2} = 6,19 \text{ m}^2$$

Portanto, tem-se 6,19 m² como área média da seção transversal do rio São Salvador na região da propriedade, a ser considerada no cálculo da vazão.

3.2.2.3 Determinação da vazão pelo método do flutuador

Com os valores encontrados da velocidade média e a área da seção transversal do rio, pode-se calcular a vazão, substituindo os valores na equação (2.2) já descrita, como segue.

$$Q = 6,19 \times 0,43 \times 0,6 = 1,59 \text{ m}^3/\text{s}$$

Como as margens do rio não são uniformes e possuem irregularidades, considera-se como 0,6 o fator adimensional. Desta maneira, através do método do flutuador obteve-se uma vazão média de 1,59 m³/s ou ainda 1590 L/s para o rio São Salvador na propriedade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

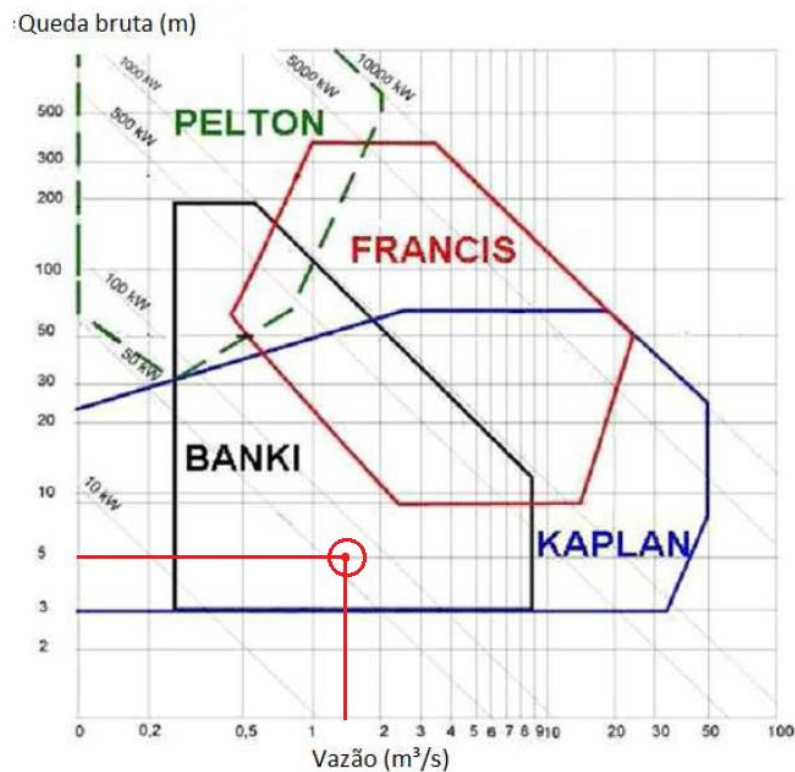
Neste capítulo são apresentadas as informações referentes as estruturas escolhidas para a geração de eletricidade, como a turbina e o gerador que podem ser usados bem como o montante de geração máxima teórico que o conjunto irá proporcionar.

Utilizou-se um método matemático e um gráfico para comparar os resultados obtidos e assim obter valores da potência máxima teórica, bem com a escolha da turbina que se enquadra das características do local e o potencial de geração que o conjunto pode fornecer.

4.1 ESCOLHA DA TURBINA

Existem vários fatores a serem considerados para a escolha da turbina, sendo que, para este trabalho, foram considerados os dados coletados de vazão e a queda disponível para se ter uma ideia de qual turbina utilizar. Essa relação é representada de forma escalonada do gráfico da figura 4.1, que relaciona as duas grandezas.

Figura 4.1 – Gráfico para a escolha da turbina.



Fonte: Adaptado de MERIGUE, 2013.

Traçando no gráfico os valores disponíveis de 5 metros de desnível e 1,59 m³/s de vazão disponíveis na propriedade, pode-se concluir que pela interseção dos dois valores a turbina indicada a ser utilizada é a do tipo Banki (Michael-Banki).

No gráfico, ainda são representadas linhas diagonais com a potência que pode ser instalada, sendo que, para os valores mencionados, pode-se obter aproximadamente 55 kW de potência máxima teórica a ser instalada.

4.2 CÁLCULO DA MÁXIMA POTÊNCIA DE GERAÇÃO INSTALADA

Para o cálculo da máxima potência de geração a ser instalada e para comparar com o resultado obtido pelo método gráfico anterior, pode-se utilizar a equação (2.6) já descrita, que relaciona além dos mesmos dados de vazão e altura, valores como a gravidade, a densidade da água e o possível rendimento da turbina.

$$P_t = Q \times H \times g \times \rho \times N \quad (2.6)$$

Substituindo os valores de vazão e altura anteriormente encontrados e considerando a gravidade como 9,8 m/s², a densidade da água como 997 kg/m³ e o rendimento médio de uma turbina tipo Banki de 70% (ou 0,7), tem-se:

$$P_t = 1,59 \times 5 \times 9,8 \times 997 \times 0,7 = 54.373,389 \text{ W} = 54,37 \text{ kW}$$

Matematicamente tem-se 54,37 kW de potência total que pode ser instalada na propriedade, valor muito próximo dos 55 kW obtidos através do método gráfico, o que garante uma boa veracidade ao resultado e um norte para a analisar se é viável ou não a implantação da microcentral hidrelétrica no local estudado.

4.3 CÁLCULO DO POTENCIAL MÁXIMO DE GERAÇÃO

Para o cálculo do potencial de geração é necessário saber qual o gerador que será utilizado. No mercado existem vários modelos e para esse estudo considera-se um gerador com potência de 50 kW, já levando em conta o fator de potência na conversão da unidade de kVA para Watt.

Através da equação (2.7) já descrita que relaciona a potência com o tempo diário de funcionamento do conjunto turbina-gerador e o número de dias que ele permanecerá ligado, pode-se obter o total de energia gerada.

$$E = P \times \Delta t \quad (2.7)$$

Considera-se então que o conjunto instalado permaneça em funcionamento durante 24 horas por dia durante 28 dias do mês, sendo descontados dois dias devido a possíveis pausas para manutenções preventivas e/ou corretivas que podem vir a ocorrer, resultando em 672 horas de funcionamento mensais. Substituindo os valores na equação 4.2, tem-se:

$$E = 50 \times 672 = 33.600 \text{ kWh mês}$$

Logo, a energia máxima que pode ser gerada é de 33.600 kWh mês, muito superior à média consumida de 223,41 kWh mês pelos moradores da propriedade. Mesmo sendo uma média teórica, o valor que pode ser gerador de energia é bem considerável, tornando a implantação do sistema acessível com um bom retorno.

5 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi estimar o potencial de produção de energia elétrica através de um sistema de microgeração hídrica, analisando as características da propriedade rural escolhida visando o aproveitamento das águas e das quedas do rio São Salvador no local.

Notou-se que, tanto pelo método matemático quanto pelo método gráfico, os valores obtidos da potência total que pode ser instalada são muito próximos, considerando a simplicidade do método utilizado para a obtenção da vazão, por exemplo.

O montante de 33.600 kWh mês que podem ser gerados é o máximo a ser extraído com as melhores condições do rio e o do terreno. Para um dimensionamento mais eficaz, devem ser feitas mais medições de vazão em outros períodos do ano, a fim de mapear o comportamento do rio nas épocas chuvosas e de seca, para se ter ideia do quanto de água estará realmente disponível para utilizar para a geração de energia.

O processo de obtenção da licença ambiental, não discutido nesse trabalho, pode modificar o montante de água que será permitido desviar bem como a maneira como será feita a captação e a condução da água pelo canal.

Contudo, mesmo que o potencial de geração real seja inferior ao calculado, o pequeno rio pode sim garantir a autossuficiência energética da propriedade. Ainda, este trabalho possibilita que mais moradores que também possuem pequenos rios em suas propriedades possam estudar o aproveitamento dos mesmos e assim gerar sua própria energia, descentralizando a geração das grandes usinas e contribuindo também para o sistema energético brasileiro.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Uma vez que o foco deste trabalho foi calcular o máximo potencial de geração que o rio da propriedade pode oferecer, outros aspectos não foram considerados e deverão ser objeto de estudos futuros, como:

- Estudo orçamentário detalhado para todos os elementos que compõe este tipo de instalação, envolvendo desde o custo de reativação do canal até a turbina e gerador;
- Análise da viabilidade para a interligação com a rede da concessionária de energia, visando a obtenção de créditos de energia com a geração de energia excedente da CGH.

REFERÊNCIAS

ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**: 1ª ed. 2002. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf>. Acesso em: 12 mai. 2018.

_____. **Guia do Empreendedor de Pequenas Centrais Hidrelétricas**. 2003. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/Guia_empreendedor_PCH_2003.pdf/feab74d9-2b01-4c45-a24f-d0e47adc5ce5>. Acesso em: 28 mai. 2018.

_____. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**: 3ª ed. 2008. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas3ed.pdf>>. Acesso em: 22 mai. 2018.

_____. **Balanço Energético Nacional**. 2017.a. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf>. Acesso em: 12 mai. 2018.

_____. **Plano de Dados Abertos 2016-2017**. 2017.b. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656835/15191504/DD_IG_1_1a_f_II/cdafdee5-efa9-eacc-f0a3-ec3e2ec923bf>. Acesso em: 23 mai. 2018.

_____. **Resolução Normativa Nº 786/2017**. 2017.c. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2017786.pdf>>. Acesso em: 29 mai. 2018.

_____. **Banco de Informações de Geração**. 2018. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 13 mai. 2018.

_____. **Micro e Minigeração Distribuída**. Cadernos Temáticos ANEEL. Brasília 2ª ed. 2016.

BRASIL. **Resenha Energética Brasileira**. 2017. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/02+-+Resenha+Energética+Brasileira+2017+-+ano+ref.+2016+\(PDF\)/13d8d958-de50-4691-96e3-3ccf53f8e1e4?version=1.0](http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/02+-+Resenha+Energética+Brasileira+2017+-+ano+ref.+2016+(PDF)/13d8d958-de50-4691-96e3-3ccf53f8e1e4?version=1.0)>. Acesso em: 14 mai. 2018.

CUORE. Raul Enrique. **Fontes de Energia Renováveis e seus principais benefícios para a humanidade**. WEBARTIGOS, 2009. Disponível em: <<https://www.webartigos.com/artigos/fontes-de-energia-renovaveis-e-seus-principais-beneficios-para-a-humanidade/21159>>. Acesso em: 14 mai. 2018.

ELETROBRÁS. **Manual de Instruções para Estudos de Viabilidade de Aproveitamentos Hidroelétricos**. Rio de Janeiro, RJ, 1997. Disponível em: <<http://eletrobras.com/pt/Paginas/Manuais-e-Diretrizes-para-Estudos-e-Projetos.aspx>> Acesso em: 24 mai. 2018.

_____. **Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas**. Brasília, ed. 2007. Disponível em: <<http://eletrobras.com/pt/Paginas/Manuais-e-Diretrizes-para-Estudos-e-Projetos.aspx>>. Acesso em 24 mai. 2018.

_____. **Diretrizes para estudos e projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas**. 2000. Disponível em: <<http://eletrobras.com/pt/Paginas/Manuais-e-Diretrizes-para-Estudos-e-Projetos.aspx>>. Acesso em: 24 mai. 2018.

FARRET, A. F. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica**. Santa Maria: Editora da UFSM, 1999.

FILHO, Geraldo Lúcio Tiago; VIANA, Augusto Nelson Carvalho; LOPES, José Dermeval Saraiva. **Como montar e operar uma micro usina hidrelétrica na fazenda**, Viçosa – MG, CPT, 2010.

_____, Donato S. **Dimensionamento de usinas hidroelétricas através de técnicas de otimização evolutiva**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2003.

GONÇALVES, Bernardo Hermont - **Estudo comparativo da resistência à erosão por cavitação do metal de solda depositado por um arame tubular tipo 13%Cr, 4% Ni, 0,4% Mo e do aço fundido ASTM a 743 CA-6NM**, Dissertação de Mestrado da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil, 2007.

HARVEY, Adam ; e outros; **Turbinas Hidráulicas**, 1998

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual do Usuário Aplicativo Online IBGE-PPP**. Rio de Janeiro, abr. 2017.

JÚNIOR, Ricardo Luiz – **Projeto conceitual de uma turbina hidráulica a ser utilizada na Usina Hidrelétrica externa de Henry Borden**, Projeto de Graduação da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2013

_____, Mario C. Machado. **Os Impactos Ambientais e Sociais das Grandes Usinas Hidrelétricas**; Web Artigos, 2010. Disponível em: <<https://www.webartigos.com/artigos/os-impactos-ambientais-e-sociais-das-grandes-usinas-hidreletricas/32832/>> Acesso em: 24 mai. 2018.

_____, Antônio G. de Mello. **A turbina de fluxo cruzado (Michell-Banki) como opção para centrais hidráulicas de pequeno porte**. Dissertação de pós graduação. Universidade de São Paulo (USP), São Paulo - SP, 2000.

MERIGUE, Rafael. SILVA, Ricardo S. **Estudo de turbinas para hidrelétrica de Roncador – Bocaiúva do Sul**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013

OSSBERGER – Turbinenfabrick (1998). **The concept of water power**. Ossberger, 1998. p 1-16. (Catálogo sobre características da turbina de fluxo cruzado).

PALHARES, Julio C. P. et al. **Medição de Vazão em Rios pelo Método do Flutuador**. Comunicado Técnico 455 Versão Eletrônica, Concórdia – SC, 2007.

PENA, Rodolfo F. Alves. Fontes renováveis de energia; **Brasil Escola**, 2014. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/fontes-renovaveis-energia.htm>>. Acesso em: 14 mai. 2018.

SCHREIBER, Gerhard Paul. Usinas Hidrelétricas. São Paulo: Editora Blücher, 1978.

SOUZA, Zulcy de; SANTOS, Afonso H. M.; BORTONI, Edson C. **Centrais hidrelétricas: estudos para implantação**. Rio de Janeiro: Centro da Memória da Eletricidade no Brasil, 1999. (referenciar como Souza *et. al.*, 1999).

TOLMASQUIM, M. T. (Coordenador), **Geração de energia elétrica no Brasil**, Rio de Janeiro, Interciência: Cinergia, 2005.