

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS CORNELIO PROCÓPIO
DIRETORIA DE GRADUAÇÃO E EDUCAÇÃO PROFISSIONAL
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELÉTRICA
ENGENHARIA ELÉTRICA

LAERCIO ANDRADE DOS SANTOS JUNIOR
MARCELO SPAGNUOLO SANCHES

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE PEQUENAS CENTRAIS GERADORAS
RENOVÁVEIS EM PROPRIEDADES RURAIS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO
2020

LAERCIO ANDRADE DOS SANTOS JUNIOR
MARCELO SPAGNUOLO SANCHES

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE PEQUENAS CENTRAIS GERADORAS
RENOVÁVEIS EM PROPRIEDADES RURAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina Trabalho de conclusão de curso, do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientadora: Prof. Dra. Gabriela Helena Bauab Shiguemoto.

CORNÉLIO PROCÓPIO

2020



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Cornélio Procópio
Departamento Acadêmico de Elétrica
Curso de Engenharia Elétrica



FOLHA DE APROVAÇÃO

Laercio Andrade dos Santos Junior

Análise de viabilidade de pequenas centrais geradoras renováveis em propriedades rurais

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 14:00hs do dia 03/12/2020 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista no programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Dr(a). Gabriela Helena Bauab Shiguemoto - Presidente (Orientador)

Prof(a). Esp. Ulisses Pereira Rosa Borges - (Membro)

Prof(a). Me(a). Marco Antonio Ferreira Finocchio - (Membro)



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Cornélio Procópio
Departamento Acadêmico de Elétrica
Curso de Engenharia Elétrica



FOLHA DE APROVAÇÃO

Marcelo Spagnuolo Sanches

Análise de viabilidade de pequenas centrais geradoras renováveis em propriedades rurais

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 14:00hs do dia 03/12/2020 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista no programa de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Dr(a). Gabriela Helena Bauab Shiguemoto - Presidente (Orientador)

Prof(a). Esp. Ulisses Pereira Rosa Borges - (Membro)

Prof(a). Me(a). Marco Antonio Ferreira Finocchio - (Membro)

AGRADECIMENTOS

Eu, Marcelo Sanches, começo agradecendo à toda minha família que fez parte do início da minha educação até agora, especialmente aos meus pais Antonio e Angélica e irmãos Fernando e Toninho, que sempre me apoiaram e incentivaram em todos os momentos para que eu pudesse chegar até onde cheguei e tivesse condições de ir cada vez mais longe. Sem eles este trabalho não seria possível. Agradeço à professora Dr^a Gabriela Shiguemoto orientadora pela paciência, pelos conselhos e grande dedicação nas correções para que o trabalho fosse concluído com qualidade. Além de todos os professores que fizeram parte da minha graduação, compartilhando seu conhecimento em sala de aula e que de alguma forma contribuíram para a minha formação.

Agradeço à minha dupla de TCC, Laercio, pela amizade, dedicação e comprometimento durante a realização deste trabalho tão desafiador. E aos meus amigos que estiveram sempre presentes durante a graduação, me apoiando e dando um pouco mais de leveza a todo o processo. As risadas compartilhadas com vocês fizeram toda a diferença.

A todas as pessoas que de uma alguma forma me ajudaram e acreditaram em mim, eu quero deixar um agradecimento eterno.

Eu, Laercio, agradeço à Deus, por proporcionar cada momento em minha vida, com saúde, sabedoria e desenvolvimento a mim e a minha família. Agradeço ao meu pai, por todo esforço e dedicação, para com meus estudos e educação, desde o início de minha vida. Agradeço ao meu irmão, por seu companheirismo e ombro amigo, em todos os momentos.

Agradeço à minha esposa Ana Paula Cacciolari, por seu apoio, companheirismo e compreensão, sempre me apoiando e aconselhando em momentos difíceis, mãe da estrela da nossa vida, Maria Luiza Cacciolari dos Santos, que veio para alegrar e encher de amor a nossa vida.

Agradeço à professora Dr^a.Gabriela, por nos apoiar no desenvolvimento do trabalho, orientando, apoiando e dando conselhos, para o melhor desenvolvimento. Agradeço a todos os professores da graduação, que com dedicação, nos transmite seus conhecimentos, experiências e conselhos.

Agradeço ao meu parceiro de trabalho, pela sua amizade e pelo trabalho desenvolvido com dedicação e qualidade. Agradeço a todos meus amigos, que contribuíram com tempo, atenção e muitos momentos felizes, durante a graduação, que se tornaram irmãos, inclusive ao nosso amigo Luiz Roncon, que nos deixou inúmeras lembranças alegres.

RESUMO

A geração distribuída é um dos temas mais discutidos no âmbito do planejamento energético mundial e é apontada como o futuro da produção de energia elétrica, tida como alternativa à expansão de parques centralizados e de grande porte. A utilização de fontes renováveis de energia, como solar, eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCH's), possuem papel importante no âmbito econômico por utilizar recursos já disponíveis e muitas vezes sem valor comercial. A metodologia utilizada neste trabalho, tem o intuito de apresentar valores aproximados de investimento para implementação dos diferentes tipos de gerações renováveis, calculados a partir de uma interface executada no software Excel, sendo uma avaliação inicial para auxiliar na busca de um melhor empreendimento para atender as necessidades do consumidor.

Palavras-chave: Geração distribuída; energia renovável; viabilidade econômica; fontes renováveis; propriedades rurais.

ABSTRACT

Distributed generation is one of the most discussed topics in the scope of global energy planning and is pointed out as the future of electricity production, seen as an alternative to the expansion of centralized and large parks. The use of renewable energy sources, such as solar, wind, biomass and small hydroelectric plants (SHP's), play an important role in the economic sphere by using resources already available and often without commercial value. The methodology used in this work, aims to present approximate investment values for the implementation of the different types of renewable generation, calculated from an interface executed in Excel software, being an initial evaluation to assist in the search for a better enterprise to meet the needs of the consumer.

Keywords: Distributed generation; renewable energy; economic viability; renewable sources; rural properties.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação das PCH quanto à potência e quanto à queda de projeto	30
Tabela 2 - Tipos de biomassa para geração de energia elétrica.	33
Tabela 3 - Produção de gás por dejetos de animais	34
Tabela 4 - Composição do biogás	48
Tabela 5 - PCI do biogás em função da composição química.....	48
Tabela 6 - Produção de gás por dejetos de animais	49
Tabela 7 - Divisão custos geração com biogás	51
Tabela 8 - Valor total estimado de investimento para grupo gerador de 40kW	51
Tabela 9 - Trecho da tabela de tarifas das concessionárias de energia.....	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Painel Fotovoltaico inteligente	22
Figura 2 - Aerogerador com rotor horizontal	24
Figura 3 - Aerogerador com rotor Savonius.....	25
Figura 4 - Aerogerador com rotor Darrieus.....	26
Figura 5 - Aerogerador com rotor H-Darrieus	26
Figura 6 - Exemplo de PCH à Fio d'Água	28
Figura 7 - Exemplo de PCH com acumulação.....	29
Figura 8 - Representação dos elementos de uma PCH.	32
Figura 9 - Mapa da radiação solar direta normal – Média anual (Wh/m ² . dia).....	36
Figura 10 - Velocidade média anual do vento a 50m de altura (m/s).....	39
Figura 11 - Caracterização da potência por velocidade de vento de um gerador eólico genérico.....	40
Figura 12 - Captura da tela inicial do Google Earth®, onde o quadro em destaque com o número 1 é o campo de pesquisa de locais e o quadro número 2 é a lista dos arquivos KML necessários.	42
Figura 13 - Detalhe do município de Buritizal - SP com destaque para a região onde está localizada a propriedade do exemplo (número 3).	43
Figura 14 - Mapa de velocidade média do vento na região de Buritizal -SP, mostrando o valor da velocidade do vento onde está localizada a propriedade do exemplo.	44
Figura 15 - Portifólio de turbinas hidráulicas WEG	46
Figura 16 - Tela inicial programa de simulação.	59
Figura 17 - Ficha de dados da propriedade.....	60
Figura 18 - Resultados do estudo de viabilidade caso 1-A.....	61
Figura 19 - Resultados do estudo de viabilidade caso 1-B.....	63
Figura 20 - Resultados do estudo de viabilidade caso 2-A.....	66
Figura 21 - Resultados do estudo de viabilidade caso 2-B.....	68
Figura 22 - Trecho da tabela que fornece a média de anual de irradiação direta normal por município	76
Figura 23 - Tela inicial do programa	80
Figura 24 - Tela de entrada de dados.....	80
Figura 25 - Tela de resultados mostrando <i>Payback</i> , Custo e Potência instalada	81

Figura 26 - Tela de cálculo de potência disponível e custos em relação à energia solar	82
Figura 27 - Tela de cálculo de potência disponível e custos em relação à energia eólica	82
Figura 28 - Tela de cálculo de potencia disponível e custos em relação à energia hidrelétrica	83
Figura 29 - Tela de cálculo de potência disponível e custos em relação à energia de biomassa	83

LISTA DE SIGLAS

CEPEA	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
ProGD	Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CGH	Centrais Geradoras Hidrelétricas
PCH	Pequenas Centrais Hidrelétricas
UHE	Usina Hidrelétrica de Energia
CGCR	Central Geradora de Capacidade Reduzida
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EIA	Estudos de Impacto Ambiental
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	16
1.1	Justificativa.....	17
1.2	Objetivos	18
2.	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO BRASIL.....	19
2.1	Tipos de geração distribuída abordadas.....	21
2.1.1	Energia Solar.....	21
2.1.2	Energia Eólica	22
2.1.2.1	Tipos de minigeradores eólicos	23
2.1.2.1.1	Aerogerador com rotor horizontal	23
2.1.2.1.2	Aerogerador com rotor Savonius.....	24
2.1.2.1.3	Aerogerador com rotor Darrieus	25
2.1.2.1.4	Aerogerador com rotor H-Darrieus	26
2.1.3	Geração Hidrelétrica.....	27
2.1.3.1	Classificação da unidade geradora	27
2.1.3.1.1	Classificação quanto à potência	27
2.1.3.1.2	Classificação quanto à capacidade de regularização	27
2.1.3.1.3	Classificação quanto ao sistema de adução.....	29
2.1.3.1.4	Classificação quanto à potência instalada e quanto á queda d'água ..	29
2.1.3.2	Estudos Ambientais.....	30
2.1.3.3	Composição de uma Pequena Central Geradora.....	31
2.1.4	Biomassa.....	32
2.1.4.1	Produção de Energia Elétrica em Propriedades Rurais	33
3.	CÁLCULO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DE CADA GERAÇÃO ...	35
3.1	Energia solar fotovoltaica.....	35
3.1.1	Cálculo energia disponível.....	35

3.1.2	Custo inicial de projeto	37
3.2	Energia eólica	37
3.2.1	Cálculo energia disponível.....	38
3.2.2	Custo inicial de projeto	41
3.2.3	Consulta da velocidade média do vento	41
3.3	Geração hidrelétrica	44
3.3.1	Cálculo energia disponível - Hidrelétrica	45
3.3.2	Custos de implantação da geração hidrelétrica	46
3.4	Biomassa – Biogás.....	47
3.4.1	Cálculo energia disponível.....	48
3.4.2	Custos implantação geração à biogás.....	50
4.	FINANCIAMENTOS E CRÉDITO RURAL	52
4.1	BNDES.....	52
4.1.1	Finame energia renovável	52
4.1.2	Fundo clima - Subprograma energias renováveis	52
4.2	Banco do brasil.....	53
4.2.1	Pronaf Eco.....	54
4.2.2	Pronaf Agroindústria.....	54
4.2.3	Prodecoop	54
4.2.4	Inovagro	55
4.2.5	FCO Rural Investimento Agropecuário	55
4.3	Caixa econômica federal.....	56
5.	DISCUSSÃO E RESULTADOS ESTUDADOS	57
5.1	Período de retorno do investimento – <i>Payback</i>.....	57
5.2	Resultados	57
5.2.1	Caso 1	58
5.2.1.1	Caso 1-A.....	58

5.2.1.2	Caso 1-B.....	62
5.2.1.3	Considerações caso 1	64
5.2.2	Caso 2	64
5.2.2.1	Caso 2-A.....	64
5.2.2.2	Caso 2-B.....	67
5.2.2.3	Considerações caso 2	69
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
6.1	Oportunidades de estudos futuros	70
	REFERÊNCIAS.....	71
	ANEXO 1	75
	ANEXO 2	77
	APÊNDICE 1.....	79

1. INTRODUÇÃO

Mundialmente, a matriz energética dos países vem sofrendo grandes mudanças, migrando das fontes mais tradicionais de energia, que utilizam grandes áreas ou queimam combustíveis fósseis, para pequenas gerações, localizadas próximas às unidades consumidoras, modelo é conhecido como geração distribuída. Conforme FREITAS (2015), a geração distribuída é um dos temas mais discutidos no âmbito do planejamento energético mundial e é apontada como o futuro da produção de energia elétrica. Em países de mercados mais maduros, a geração distribuída é tida como alternativa à expansão de parques centralizados e de grande porte, por apresentarem menores impactos socioambientais e custos de implantação.

Após um longo período de estabilidade tecnológica com predomínio da geração hidrelétrica, o setor elétrico brasileiro passa a viver uma etapa de grandes transformações, seguindo a tendência mundial nesse setor. Novas tecnologias para geração distribuída estão conseguindo, junto da eficiência energética, das tecnologias de armazenamento de energia e das redes inteligentes, espaço cada vez maior no mercado (BAJAY S., 2018). No entanto, em termos de desenvolvimento da tecnologia, é importante entender a disponibilidade de recursos, as possibilidades e as limitações do contexto local. A Implantação de tecnologias renováveis depende de política, mão de obra especializada, desenvolvimento tecnológico e dos recursos financeiros disponíveis e isso pode ser um desafio em países em desenvolvimento (CHAN H., 2018), como é o caso do Brasil.

O estudo da geração distribuída se mostra ainda mais importante em locais afastados dos grandes centros consumidores, como em áreas rurais de difícil acesso ou com fornecimento de energia de baixa qualidade e/ou instável. Nesse contexto, a utilização de fontes renováveis de energia tem papel importante no âmbito econômico por utilizar recursos já disponíveis e/ou baratos, e ambiental, não havendo necessidade de alagamento, desmatamento de grandes áreas ou queima de combustíveis fósseis.

É neste ponto que este trabalho pretende contribuir, analisando de forma técnica e econômica, diferentes tipos de gerações renováveis que podem ser uma

boa opção para quem demanda de energia elétrica em áreas afastadas, sem conexão com a rede de distribuição ou dispõem de recursos que não são aproveitados para gerar energia elétrica. Os tipos de geração abordados aqui serão: solar fotovoltaica, eólica, hidrelétrica (PCH) e Biomassa.

A metodologia utilizada tem o intuito de apresentar valores aproximados de investimento para implementação dos diferentes tipos de geração renovável, sendo uma avaliação inicial para auxiliar na decisão do proprietário na busca do melhor empreendimento para sua necessidade. O resultado obtido na avaliação não servirá como orçamento, devendo ser realizado estudo específico, para obtenção do custo real, possibilitando futura negociação de financiamentos.

1.1 Justificativa

Considerando as dimensões continentais do território brasileiro, é fácil imaginar a dificuldade de entregar energia para todos os consumidores com a qualidade necessária. Isso traz alguns problemas tanto para o consumidor como para as concessionárias fornecedoras. Em muitos casos esses problemas podem ser contornados com uma pequena central geradora.

A geração distribuída pode ser um importante fator de transformação no meio rural, onde propriedades e comunidades estão afastadas de grandes centros e não tem acesso ou tem um fornecimento precário de energia elétrica. A instalação desse tipo de geração se reflete tanto na melhoria da qualidade de vida dos moradores como no desenvolvimento das atividades econômicas do campo, aproveitando recursos naturais disponíveis.

Outro aspecto relevante seria o tipo de atividades econômicas desenvolvidas dentro de algumas propriedades, que podem ser altamente dependentes de energia elétrica, como é o caso de fazendas de laticínios que exigem refrigeração constante do leite e produtos derivados ou granjas de aves e suínos que usam ventiladores e lâmpadas ligadas quase 24 horas por dia para ter um crescimento rápido dos animais, entre outras aplicações. Nesses casos a falta de energia pode significar prejuízos para o produtor (SILVA, M. C.; BUENO, O. C, 2011).

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal estudar a financeira da instalação de uma pequena central geradora renovável em propriedades rurais, com foco nos recursos já existentes na propriedade.

A partir do objetivo principal, surgem os seguintes objetivos específicos:

- Pesquisar os tipos de pequenas gerações disponíveis no mercado;
- Análise de área e recursos disponíveis na propriedade para a geração;
- Estudo da viabilidade econômica de cada tipo de geração;
- Pesquisar os financiamentos e créditos voltados especificamente para esse tipo de aplicação;
- Cálculo do *payback* simples, tempo de retorno dos investimentos considerando a economia no consumo de energia;
- Implementação de um programa/aplicativo que apresente de forma dinâmica a viabilidade econômica, de modo geral, dos diferentes tipos de geração em uma propriedade rural.

2. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO BRASIL

Após um longo período de estabilidade tecnológica com predomínio da geração hidrelétrica, o setor elétrico brasileiro passa a viver uma etapa de grandes transformações, seguindo a tendência mundial nesse setor com a aparição de centrais geradoras distribuídas para autogeração (IEI Brasil, 2018). Essas mudanças vêm de encontro com os interesses das concessionárias responsáveis por gerar, transmitir e distribuir a energia pelo território nacional, que, ano após ano, presenciam um aumento constante de usuários interligados à rede e tem cada vez mais gastos para aumentar e manter seus serviços com a qualidade exigida.

(ACKERMANN, ANDERSSON, & SÖDER, 2001) e (ZILLES, MACÊDO, GALHARDO & OLIVEIRA, 2012) concordam que a geração distribuída se caracteriza como uma fonte de geração conectada diretamente à rede de distribuição com pequena capacidade instalada, além da geração de energia ocorrer próxima ao seu ponto de consumo, a energia pode ser integral ou parcialmente consumida no próprio local onde é gerada e o excedente injetado na rede.

Para a geração de pequeno porte, os principais equipamentos empregados no país, atualmente, são os módulos fotovoltaicos e os motogeradores movidos a óleo diesel ou gasolina (para atendimento emergencial ou operação no período de ponta). É relevante mostrar essa parcela considerável de geradores distribuídos que utilizam óleo diesel e gasolina, que são combustíveis fósseis e poluentes. Nesse contexto, é errôneo associar a geração distribuída apenas às fontes limpas e renováveis.

Pensando em melhorar o abastecimento de energia no país e incentivar a geração a partir de fontes renováveis que causem menos impacto no meio ambiente, em 2015, a ANEEL avançou no fomento à geração distribuída de pequeno porte no país por meio da publicação da Resolução Normativa nº 687. A nova resolução trouxe novidades para a geração distribuída, com destaque para:

- Alteração dos limites de potência instalada da microgeração e da minigeração para 75 kW e 5 MW (sendo 3 MW para fontes hídricas),

respectivamente. Permite-se o uso de qualquer fonte renovável e de cogeração qualificada;

- Extensão do prazo de validade para compensação dos créditos de energia, gerados por meio do sistema de compensação, de 36 meses para 60 meses;
- Possibilidade da instalação de geração distribuída em condomínios (empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras e em prédios, por exemplo).
- A Resolução criou a figura da geração compartilhada, caracterizada pela reunião de consumidores por meio de consórcio ou cooperativa. Essa modalidade permite que a unidade consumidora com micro ou minigeração distribuída esteja em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada. Esses consumidores devem estar dentro da mesma área de concessão ou permissão;
- A Resolução criou a figura do autoconsumo remoto, caracterizado por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma pessoa jurídica ou física, que possua unidade consumidora com micro ou minigeração em local diferente de suas outras unidades consumidoras, nas quais a energia excedente poderá ser compensada.

Ainda em 2015, o Ministério de Minas e Energia lançou o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD), que visa ampliar a geração distribuída com base em fontes renováveis e, principalmente, a solar fotovoltaica. Um dos objetivos do programa é auxiliar na criação de linhas de crédito e de financiamento de projetos de geração distribuída no país. Além disso, irá incentivar a indústria de componentes e equipamentos, com foco no desenvolvimento produtivo, tecnológico e na inovação.

2.1 Tipos de geração distribuída abordadas

2.1.1 Energia Solar

Dentro da geração distribuída, esse tipo de energia pode ser dividido em energia solar térmica que consiste no aquecimento de um reservatório com água durante o dia que poderá ser usada posteriormente, economizando energia elétrica. Já a energia solar fotovoltaica, que vai ser o foco deste estudo, é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (Efeito Fotovoltaico), sendo a célula fotovoltaica, um dispositivo fabricado com material semicondutor, a unidade fundamental desse processo de conversão (ACKERMANN, ANDERSSON, & SÖDER, 2001). Estas células, por sua vez, são associadas para a obtenção de um módulo fotovoltaico, popularmente chamado de painel ou placa solar.

Sem dúvida, esse tipo de geração é a que recebeu maior incentivo dentro dos programas do governo, barateando o custo das placas e transformando esse tipo de geração distribuída na mais comum no Brasil (SILVA, M. C.; BUENO, O. C, 2011). Isso ocorre, provavelmente, pela eficiência em gerar energia, pela facilidade de instalação e manutenção das placas solares e o fato de os painéis não ocuparem muito espaço dentro da propriedade, já que eles podem ser instalados em telhados, que normalmente são áreas ociosas.

Outra vantagem dos painéis fotovoltaicos é que eles podem ser instalados em pequena quantidade, sem um grande investimento inicial e o consumidor vai instalando outros módulos até atender a sua demanda total ou ainda para suprir a demanda de novas cargas. Ou pode até mesmo alocar um grupo de painéis para uma função específica no caso de regiões isoladas, como o bombeamento de água ou energização de aparelhos de comunicação e internet.

Para que esse tipo de instalação seja viável em uma propriedade, é necessário fazer medições da incidência de raios solares e consultar mapas de incidência de radiação na região para que haja o máximo de aproveitamento da energia e o tempo de retorno financeiro seja o mais rápido possível.

Figura 1 - Painel Fotovoltaico inteligente



Fonte: Energia Inteligente, 2020

2.1.2 Energia Eólica

O vento – ar da atmosfera em movimento – tem sua origem na associação entre a energia solar e a rotação planetária. Uma turbina eólica capta uma parte da energia cinética do vento que passa através da área varrida pelo rotor e a transforma em energia elétrica (CEPEL, 2001).

O tipo de turbina mais comum que se pode encontrar é aquela com grandes hélices que está nos parques eólicos espalhados em grandes áreas. Porém, para uma pequena geração distribuída, se faz necessário que o gerador eólico tenha dimensões menores, sendo mais fácil a sua instalação e manutenção.

Sistemas eólicos de pequeno porte estão mais próximos do solo do que grandes aerogeradores. De modo geral, a velocidade do vento aumenta com a altura e depende do que está construído nos arredores. Nas alturas mais baixas ela é afetada pela fricção do vento com a superfície terrestre. Bosques ou áreas urbanas densas, por exemplo, podem abrandar muito o vento, enquanto áreas abertas, como lagoas, têm influência quase nula. Por isso aerogeradores são normalmente instalados em torres elevadas ou no topo de edificações, mantendo-se distantes de outros edifícios, árvores e eventuais obstáculos (IDEAL, 2020).

O ideal é que seja feito um estudo com instrumentação adequada (anemômetro) ou a partir do mapa dos ventos da região onde será a instalação dos geradores. Para cada caso existe um tipo de gerador mais adequado.

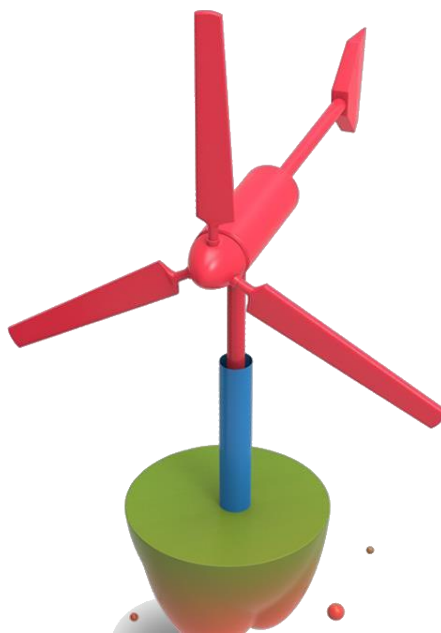
2.1.2.1 Tipos de minigeradores eólicos

As principais tecnologias de aerogeradores de pequeno porte são com eixo horizontal ou vertical. As de eixo horizontal geralmente possuem eficiência maior e são mais comuns no mercado. Porém, sistemas eólicos com eixo vertical têm a vantagem de serem menos barulhentos e de se integrarem melhor com as edificações.

2.1.2.1.1 Aerogerador com rotor horizontal

É o mais eficiente entre todos os tipos de microgeradores eólicos quando opera em condições de vento sem muita mudança de direção. Pode ser instalado um sistema de controle das pás ou eixo interno que façam com que ele fique menos ruidoso e não é indicado para locais com vento ruidoso, já que não se comporta bem com mudanças bruscas de direção.

Figura 2 - Aerogerador com rotor horizontal

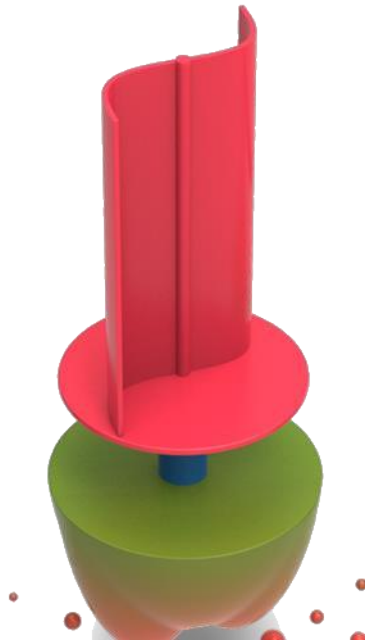


Fonte: IDEAL, 2020.

2.1.2.1.2 Aerogerador com rotor Savonius

Apesar de apresentar uma baixa potência, possui a característica de gerar energia com pouco vento, suporta ventos mais turbulentos e é muito silencioso. Sendo muito apropriado para áreas urbanas ou próximas de construções com pessoas ou animais.

Figura 3 - Aerogerador com rotor Savonius



Fonte: IDEAL, 2020.

2.1.2.1.3 Aerogerador com rotor Darrieus

É um gerador que está disponível em potências maiores, mas são muito ruidosos, precisam de um sistema de aceleração inicial e geralmente são mais caros que outros tipos, fazendo com que eles não sejam tão aplicados na geração distribuída.

Figura 4 - Aerogerador com rotor Darrieus



Fonte: IDEAL, 2020.

2.1.2.1.4 Aerogerador com rotor H-Darrieus

É um gerador com rotor em eixo vertical e pás verticais posicionadas em paralelo. É uma versão melhorada do tipo Darrieus, sendo mais eficiente e silencioso. Além de não precisar de um sistema de aceleração inicial.

Figura 5 - Aerogerador com rotor H-Darrieus



Fonte: IDEAL, 2020.

Ao se pesquisar um aerogerador é importante se atentar a algumas características relevantes como: velocidade mínima de vento para funcionamento do microgerador eólico, velocidade de vento em que o microgerador eólico alcança a potência nominal e velocidade máxima de vento em que o gerador eólico desliga.

2.1.3 Geração Hidrelétrica

A energia hidrelétrica é gerada pelo aproveitamento do fluxo das águas em uma usina na qual as obras civis são tão ou mais importantes que os equipamentos instalados (ANEEL,2008). Para utilização de geração hidrelétrica, os recursos hídricos são fundamentais, devendo ser levado em consideração o volume de água disponível, queda d'água, necessidade de barragem e reservatório, assim podendo classificar o tipo da unidade geradora.

2.1.3.1 Classificação da unidade geradora

2.1.3.1.1 Classificação quanto à potência

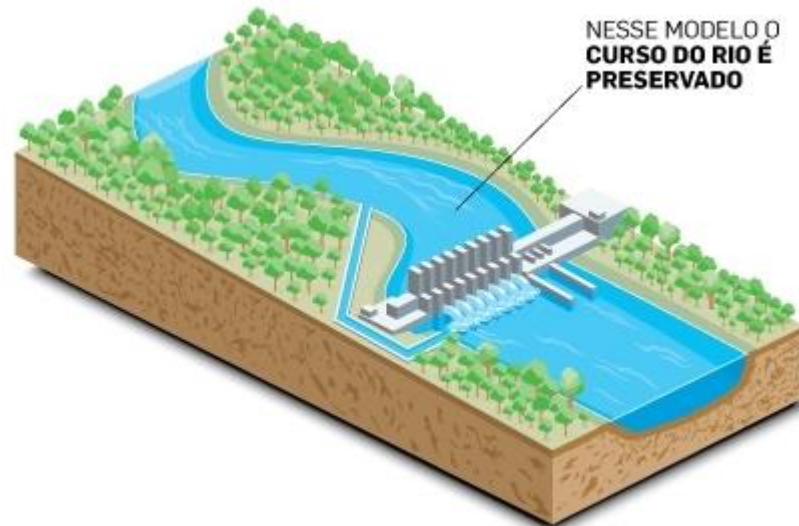
A potência instalada determina se a usina é de grande ou médio porte ou uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH). A Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL, adota três classificações: Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH, com até 1 MW de potência instalada), Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH, entre 1,1 MW e 30 MW de potência instalada e reservatório com área máxima de 3 km²) e Usina Hidrelétrica de Energia (UHE, com mais de 30 MW) (ANEEL,2008).

2.1.3.1.2 Classificação quanto à capacidade de regularização

Segundo a ANEEL, quanto ao tipo de regularização do reservatório, as centrais geradoras podem ser classificadas em:

- Fio d'Água: Gera energia com o fluxo de água do rio, não necessitando de reservatórios ou utilizando um mínimo acúmulo do recurso. A Figura 6 ilustra um exemplo de captação a fio d'água.

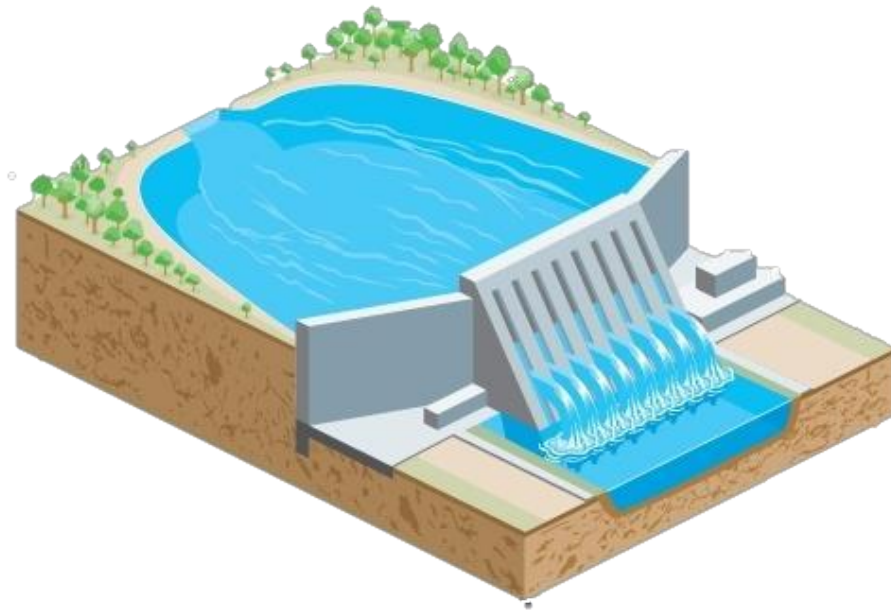
Figura 6 - Exemplo de PCH à Fio d'Água



Fonte: Sergio Nobre (Adaptado),2018.

- Acumulação: Localizadas em cabeceiras de rios, permite um grande acúmulo de água devido à existência de grandes quedas d'água, utilizando seus estoques em períodos de estiagem e também possui a capacidade de regular a vazão de água que irá fluir para outras usinas localizadas no mesmo curso d'água. A Figura 7 ilustra um exemplo de captação com acumulação. Tal modelo possui maiores danos ambientais, por possuir necessidade de uma área para alagamento, gerando desmatamento e deslocamento da fauna existentes à margem do rio.

Figura 7 - Exemplo de PCH com acumulação.



Fonte: Sergio Nobre (Adaptado),2018.

2.1.3.1.3 Classificação quanto ao sistema de adução

Levando em consideração o tipo de sistemas de adução, a (ELETROBRÁS, 2000), classifica em:

- Adução em baixa pressão com escoamento livre em canal / alta pressão em conduto forçado;
- Adução em alta pressão com escoamento livre em canal / alta pressão em conduto forçado;

2.1.3.1.4 Classificação quanto à potência instalada e quanto à queda d'água

Classificando PCH de acordo com a potência e a queda do projeto, levando em consideração as diretrizes da Eletrobrás (ELETROBRÁS, 2000), pode-se classificar em micro, mini e pequenas centrais geradoras, como representado na Tabela 1, a qual separa por potência e tamanho da queda d'água.

Tabela 1 – Classificação das PCH quanto à potência e quanto à queda de projeto

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: Eletrobrás, 2000.

2.1.3.2 Estudos Ambientais

A realização de um bom estudo ambiental prévio a construção de uma CGH/PCH é de suma importância para liberação e início das obras pelos órgãos fiscalizadores governamentais e também evitando atuação de órgãos não governamentais de proteção ambiental.

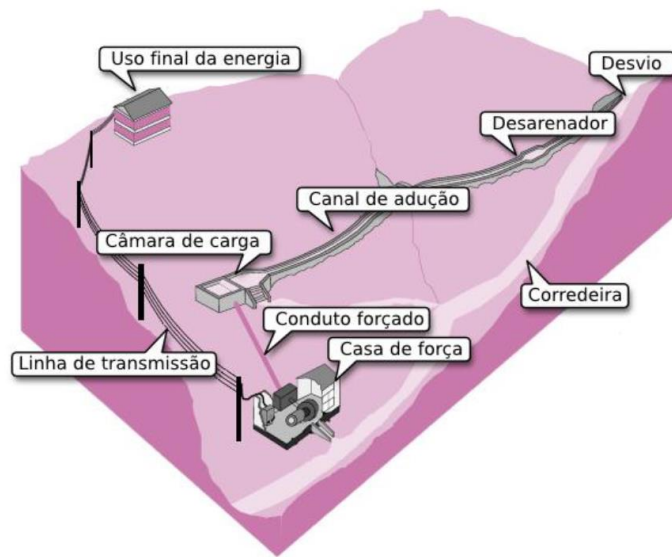
A Resolução CONAMA nº 01/86, de 23.01.86, que exigia a elaboração de estudos detalhados, em forma de EIA – Estudos de Impacto Ambiental e RIMA – Relatório de Impacto Ambiental, para “*usinas de geração de eletricidade... acima de 10 MW*” (inciso XI do Artigo 2º), sofreu mudanças em 19.12.97, pela Resolução CONAMA 237/97, que, em seus Artigos 2º, 3º e 12º, deixa a critério do órgão ambiental licenciador a decisão quanto aos casos em que serão necessários estudos detalhados ou simplificados. Para as usinas hidrelétricas, não há mais, portanto, o limite de 10 MW para a isenção de apresentação de EIA/RIMA, mas, sim, a consideração, a ser feita pelo órgão ambiental, de que o empreendimento é ou não “*potencialmente causador de significativa degradação ao meio ambiente*”, podendo “*ser estabelecidos procedimentos simplificados para as atividades e empreendimentos de pequeno potencial de impacto ambiental*” (ELETROBRÁS, 2000).

2.1.3.3 Composição de uma Pequena Central Geradora

Pequenas centrais hidrelétricas são compostas principalmente por:

- Reservatório: Tendo como função o acúmulo de água para operação das turbinas geradoras;
- Vertedouro: Cujas função é facilitar a passagem da água em tempos de cheias, protegendo a barragem de possíveis sobrecargas;
- Barragem: Em uma PCH, a barragem tem função de criar um desnível, e gerar um desvio da vazão para o canal de adução, não tendo como principal função o acúmulo de água, pois a captação é realizada a fio d'água;
- Canal de adução: função de conduzir a água do reservatório para a câmara de carga;
- Câmara de carga: recebe a água do canal de adução e conduz ao conduto forçado;
- Conduto forçado: Responsável por conduzir a água sobre pressão para a casa de força;
- Casa de força: Local onde os sistemas de turbinas e geradores estão localizados, os quais são responsáveis por transformar a energia cinética da queda d'água em energia elétrica.
- Linhas de transmissão: Conduz a eletricidade gerada na casa de força para a unidade consumidora, de acordo com as distâncias, será estudada a necessidade de transformador elevador.

Figura 8 - Representação dos elementos de uma PCH.



Fonte: VERGÍLIO, 2012.

2.1.4 Biomassa

Qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica é classificada como biomassa. De acordo com a sua origem, pode ser: florestal (madeira, principalmente), agrícola (soja, arroz e cana-de-açúcar, entre outras) e rejeitos urbanos e industriais (sólidos ou líquidos, como o lixo). Os derivados obtidos dependem da matéria-prima utilizada (ANEEL, 2008b).

A obtenção de energia elétrica com utilização da biomassa se torna uma importante fonte para substituição do petróleo e seus derivados. Além da produção de energia, a utilização da biomassa tem função ambiental, pois previne danos causados pela contaminação por lixo, resíduos animais, de gases liberados em decomposição de matérias orgânicas, entre outros.

Utilizando de biomassa agrícola (grãos, cana-de-açúcar) e de tecnologias eficientes, origina-se a produção de biocombustíveis como o biodiesel e o etanol, utilizados em motores a combustão para substituição dos derivados de petróleo.

O biogás, Metano (CH_4), proveniente da fermentação anaeróbica de matérias orgânicas (biomassa), é um combustível de grande poder calorífico, podendo ser usado para aquecimento de fogões, campânulas, estufas,

aquecedores de água, funcionamento de motores e outros aparelhos. O uso da biomassa e de biodigestores apresenta notável vantagem na área rural, onde as sobras de resíduos culturais e dejetos de animais podem ser utilizados para obter o biofertilizante, além disso, pode-se prover a energia necessária para iluminação, o aquecimento e a movimentação de motores (FARRET, 2010).

Recursos utilizados para a geração de energia elétrica, segundo a ANEEL, estão representados na Tabela 2, que tem como origem a biomassa e as fontes de energia de nível 1 e 2.

Tabela 2 - Tipos de biomassa para geração de energia elétrica.

Origem	Fonte Nível 1	Fonte Nível 2
Biomassa	Floresta	Biogás - Floresta
		Carvão Vegetal
		Gás de Alto Forno - Biomassa
		Lenha
		Licor Negro
		Resíduos Florestais
	Resíduos sólidos urbanos	Biogás - RU
		Carvão - RU
	Resíduos animais	Biogás - RA
	Biocombustíveis líquidos	Etanol
		Óleos vegetais
	Agroindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar
		Biogás-AGR
		Capim Elefante
Casca de Arroz		

Fonte: ANEEL (2018).

2.1.4.1 Produção de Energia Elétrica em Propriedades Rurais

De acordo com a tabela 2, resíduos agroindustriais podem ser utilizados em fornalhas para geração de energia elétrica pelo mesmo princípio de uma termelétrica sendo substituto para combustíveis fósseis, como o carvão mineral e petróleo. Termelétricas operam com aquecimento de água, utilizando o vapor resultante, sob pressão, como impulso para um turbo gerador.

Resíduos animais e agroindustriais, se utilizados em biodigestores, podem gerar o biogás, que possui grande poder calorífico, podendo ser utilizado em motores à combustão, os quais acoplados a um gerador, transformam a energia cinética em energia elétrica, ou até mesmo utilizados em aquecedores de água.

A construção do biodigestor dependerá de diversos fatores, como a quantidade de matéria disponível, área para ser instalado, os diferentes modelos de construção (alvenaria, material plástico, etc.). FARRET (2010) aponta a quantidade estimada de matéria orgânica, esterco diário e a sua produção de biogás, como representado na Tabela 3.

Tabela 3 - Produção de gás por dejetos de animais

Material (esterco)	kg de dejetos/dia	m3 de gás/kg de dejetos	m3 de gás/animal/dia
Aves	0,09	0,055	0,0049
Bovinos	10	0,04	0,4
Equinos	6,5	0,048	0,31
Ovinos	0,77	0,07	0,05
Suínos	2,25	0,064	0,14

Fonte: FARRET (2010).

3. CÁLCULO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DE CADA GERAÇÃO

Para o desenvolvimento deste trabalho será necessário ter conhecimento da quantidade de energia que os diferentes recursos disponíveis são capazes de fornecer para os tipos de gerações abordadas, levando em consideração as suas singularidades, como mostrado a seguir.

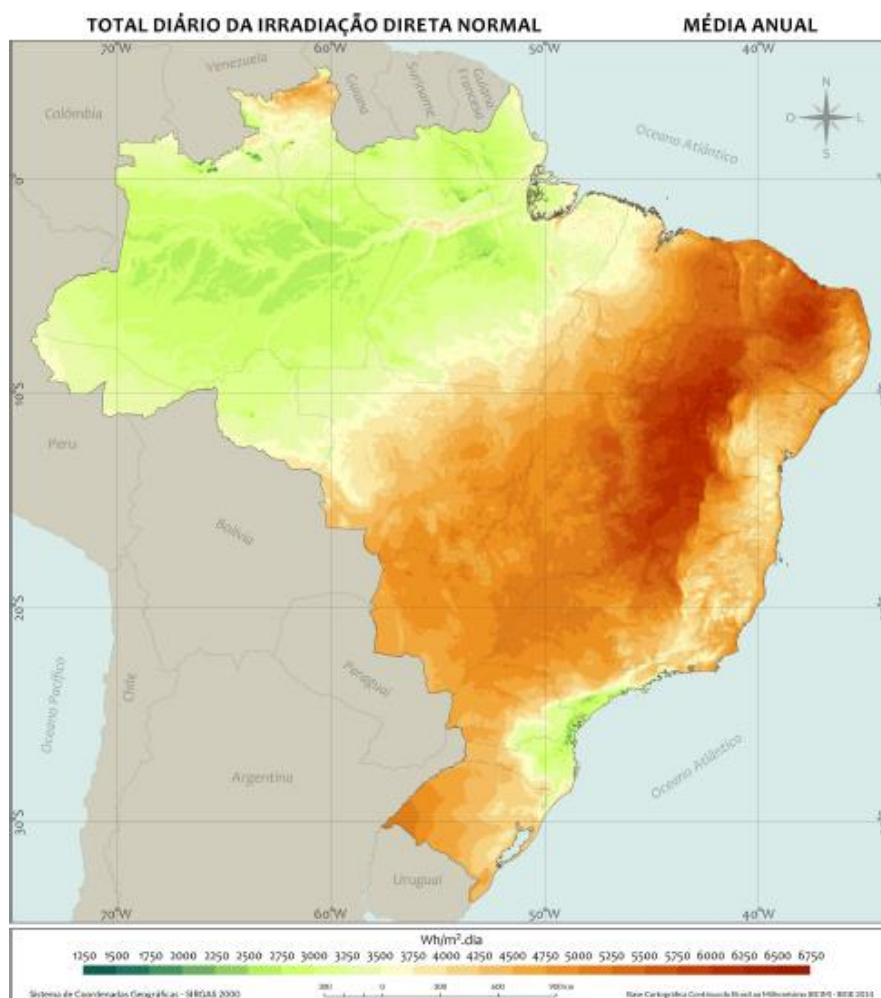
3.1 Energia solar fotovoltaica

De acordo PEREIRA et al (2017), diferente das fontes convencionais de energia utilizadas, a energia solar é temporalmente intermitente e apresenta uma variabilidade espacial elevada em razão de sua forte relação com condições meteorológicas locais (cobertura de nuvens, concentração de gases atmosféricos, sistemas sinóticos entre outros) e fatores astronômicos associados aos movimentos orbital e de rotação da Terra. O conhecimento sobre o potencial do recurso solar incidente na superfície é essencial, mas não suficiente para impulsionar o uso dessa fonte de energia. A variabilidade do recurso solar tem impactos em aspectos técnicos de qualidade e de segurança do sistema elétrico. Assim, além do potencial disponível, informações confiáveis sobre a variabilidade do recurso solar são imprescindíveis para dar suporte ao desenvolvimento de projetos para aproveitamento dessa fonte de energia. A avaliação do potencial de recursos de energia solar numa região envolve basicamente três componentes: a distribuição espacial, sua variabilidade temporal e as incertezas associadas às duas primeiras componentes.

3.1.1 Cálculo energia disponível

Para o desenvolvimento deste trabalho, será considerado a média anual de energia solar com distribuição uniforme de radiação dentro de cada município, com unidade de $Wh/m^2.dia$, como está disponível no *site* do Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017) em formato CSV que pode ser aberto em programas como o *Excel*®.

Figura 9 - Mapa da radiação solar direta normal – Média anual (Wh/m². dia).



FONTE: PEREIRA et al., 2017.

O cálculo final da energia solar disponível em kWh/mês se baseia na incidência solar média anual, na área do painel e na eficiência do mesmo como apresentado na equação 1. Esse cálculo retorna a potência que uma placa fotovoltaica pode fornecer.

$$P_{solar} = I.A.\eta \quad (1)$$

Onde:

P_{solar} = Potência disponível [kWh/mês]

I = Incidência solar média [kWh/m². mês]

A = Área unitária do painel solar, fornecida pelo fabricante [m²/un.]

η = Eficiência de conversão do painel solar, fornecida pelo fabricante [%]

3.1.2 Custo inicial de projeto

O cálculo do custo inicial do projeto depende da quantidade de placas necessárias para suprir a potência consumida pela propriedade. Encontramos esses valores da seguinte maneira.

$$n_{\text{painéis}} = \frac{P_{\text{consumida}}}{P_{\text{solar}}}$$

Onde:

$P_{\text{consumida}}$ = Potência consumida pela propriedade analisada [kWh/mês]

$n_{\text{painéis}}$ = Quantidade de painéis necessária [unidades]

Sabendo a quantidade de painéis necessária podemos fazer o cálculo inicial de implantação do projeto.

$$C_{\text{projeto}} = n_{\text{painéis}} * C_{\text{unitario}}$$

Onde:

C_{projeto} = Custo inicial estimado do projeto [R\$]

C_{unitario} = Custo unitário da placa fotovoltaica [R\$]

Esse cálculo inicial não leva em consideração custos com obras de adequação, cabos para instalação, logística e/ou inversores necessários para a instalação.

3.2 Energia eólica

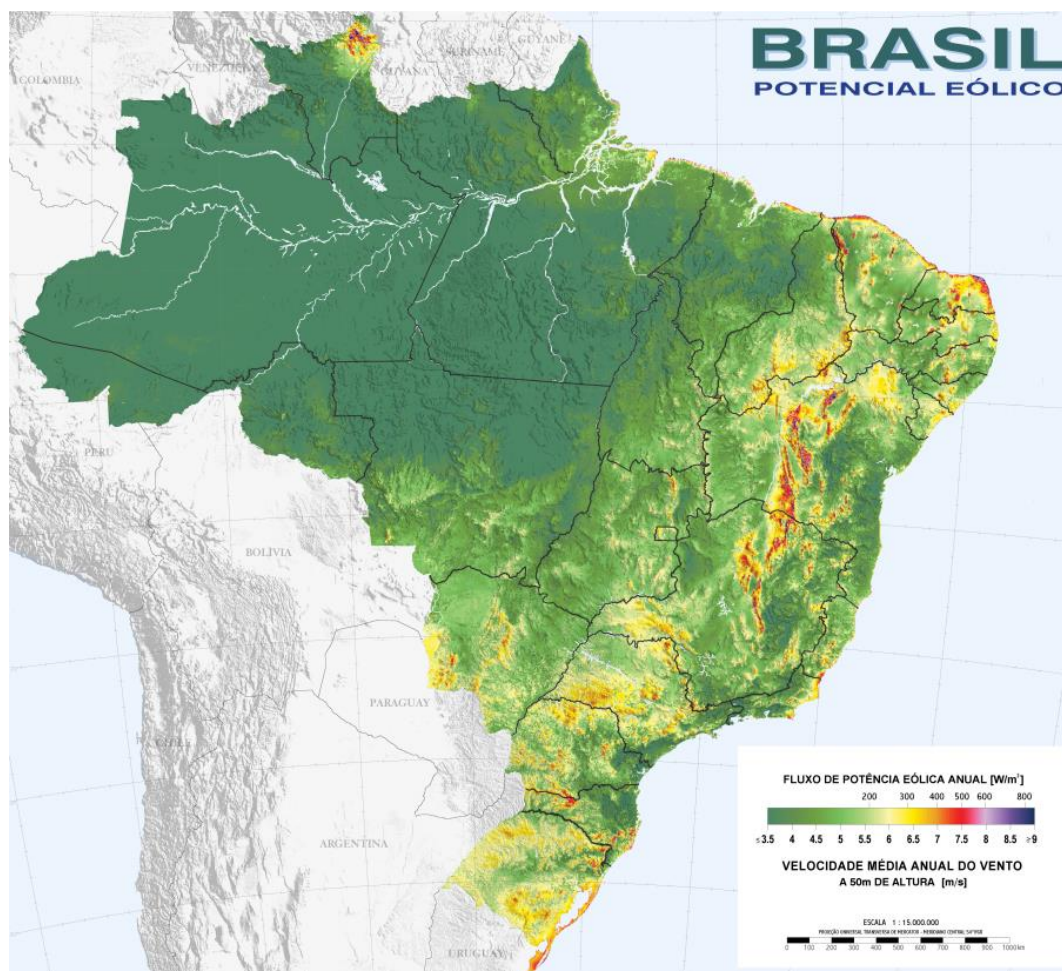
Assim como a energia solar, a energia eólica também depende de fatores geográficos conforme o caso e a região: como altitude, obstáculo ao movimento da

camada atmosférica inferior, como indutor de fenômenos de mesoescala (brisas montanha-vale) e como gerador de ondas e acelerações orográficas (AMARANTE, O. A. et al, 2001).

3.2.1 Cálculo energia disponível

Tantos fatores com tantas incertezas fazem com que o potencial eólico tenha uma ocorrência muito menos uniforme, como ocorre com a incidência solar em que pode-se considerar um valor único de incidência solar para toda a área de um município. Essa falta de padrão nas informações faz com que seja necessário consultar diretamente o mapa de velocidade média dos ventos em *m/s* disponível no *site* do CRESESB (Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sergio de S. Brito) no formato *KML* que pode ser aberto em programas como *Google Earth*®.

Figura 10 - Velocidade média anual do vento a 50m de altura (m/s).

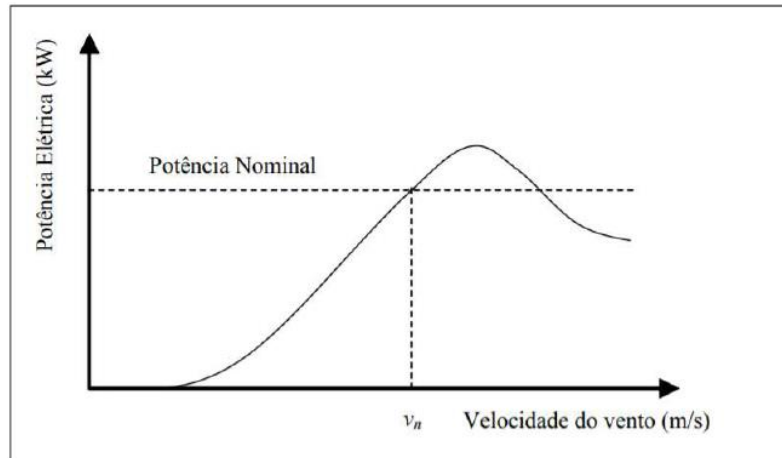


FONTE: AMARANTE, O. A. et al, 2001.

Em relação à operação, os aerogeradores são projetados para uma determinada faixa de variação da velocidade do vento, geralmente entre 3 a 30 m/s. Acima desta faixa, os componentes como gerador e pás, passam a atuar com sobrecarga. Na prática o gerador eólico fornecerá de forma contínua no máximo 20% de sua potência nominal (NEOEOLICA, 2011).

A potência fornecida pelo gerador eólico será calculada usando como base a curva de potência do gerador eólico, cuja potência varia em relação à velocidade do vento, como mostrado na Figura 3.

Figura 11 - Caracterização da potência por velocidade de vento de um gerador eólico genérico.



FONTE: AMARANTE, O. A. et al, 2001.

Observa-se que a curva de subida do gráfico tem uma característica linear, assim pode-se fazer uma regra de proporcionalidade entre a velocidade do vento em que ocorre a potência nominal com a velocidade do vento medida na região onde se pretende instalar a turbina para encontrar a potência real fornecida pelo gerador.

Com essas informações é possível obter a equação de potência disponível em kW. Multiplicando a equação por 720 horas tem-se a potência disponível em kWh/mês, conforme apresentado na equação 2. Esse cálculo retorna a potencia que apenas um aero gerador pode fornecer.

$$P_{eolica} = \left(P_{nominal} \cdot \frac{v_{medido}}{v_{nominal}} \right) * 0,2 * 720 \quad (2)$$

Onde:

P_{eolica} = Potência disponível [kWh/mês];

$P_{nominal}$ = Potencia nominal do gerador, fornecida pelo fabricante [W];

$v_{nominal}$ = velocidade do vento em que ocorre a potência nominal, fornecido pelo fabricante [m/s];

v_{medido} = velocidade do vento medido no local onde se pretende instalar a turbina [m/s].

3.2.2 Custo inicial de projeto

O cálculo do custo inicial do projeto depende da quantidade de aero geradores necessários para suprir a potência consumida pela propriedade. Encontramos esses valores da seguinte maneira.

$$n_{geradores} = \frac{P_{consumida}}{P_{eolica}}$$

Onde:

$P_{consumida}$ = Potência consumida pela propriedade analisada [kWh/mês]

$n_{geradores}$ = Quantidade de aero geradores necessária [unidades]

Sabendo a quantidade de painéis necessária podemos fazer o cálculo inicial de implantação do projeto.

$$C_{projeto} = n_{geradores} * C_{unitario}$$

Onde:

$C_{projeto}$ = Custo inicial estimado do projeto [R\$]

$C_{unitario}$ = Custo unitário do aero gerador [R\$]

Esse cálculo inicial não leva em consideração custos com obras de adequação, cabos para instalação, logística e/ou inversores necessários para a instalação.

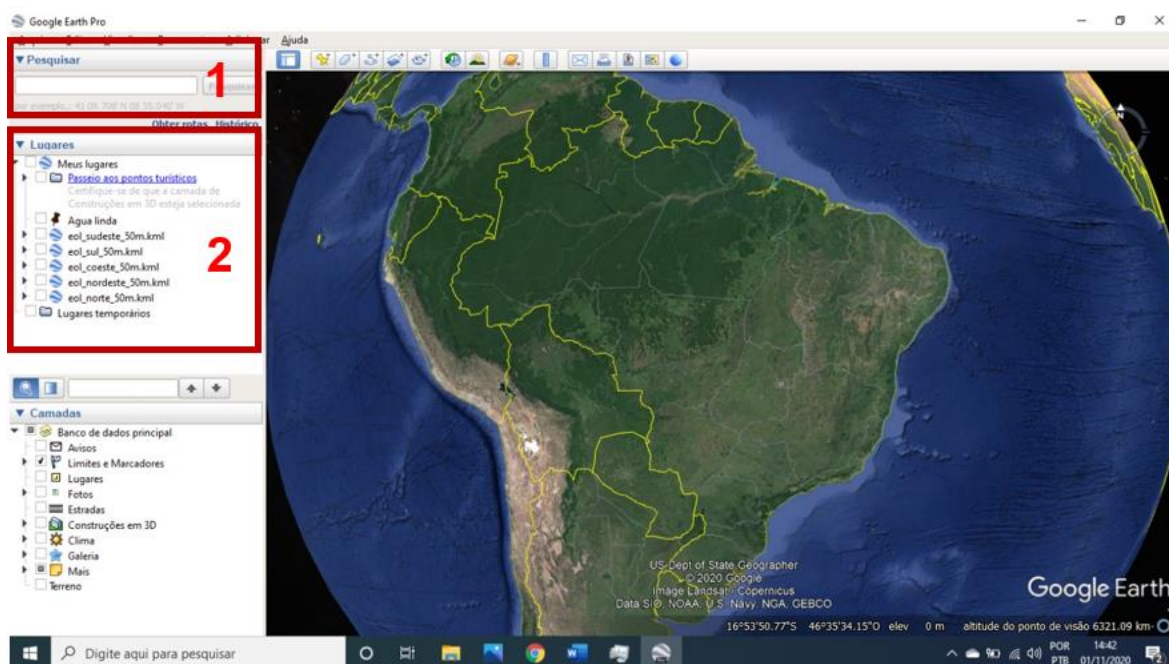
3.2.3 Consulta da velocidade média do vento

Como foi explicado anteriormente, a consulta da velocidade do vento é feita a partir do mapa da velocidade média anual dos ventos, porém é necessário utilizar o programa *Google Earth*® para consultar os arquivos *KML* obtidos do *site* do CRESESB e se obter de forma precisa esse valor.

A consulta é feita conforme o exemplo a seguir: considera-se uma propriedade localizada no município de Buritizal – SP (este município foi escolhido

pois será utilizado para outras demonstrações na seção 9 *Resultados*). Primeiramente, abre-se o programa *Google Earth*® e encontra-se a tela inicial como mostrado na figura 12.

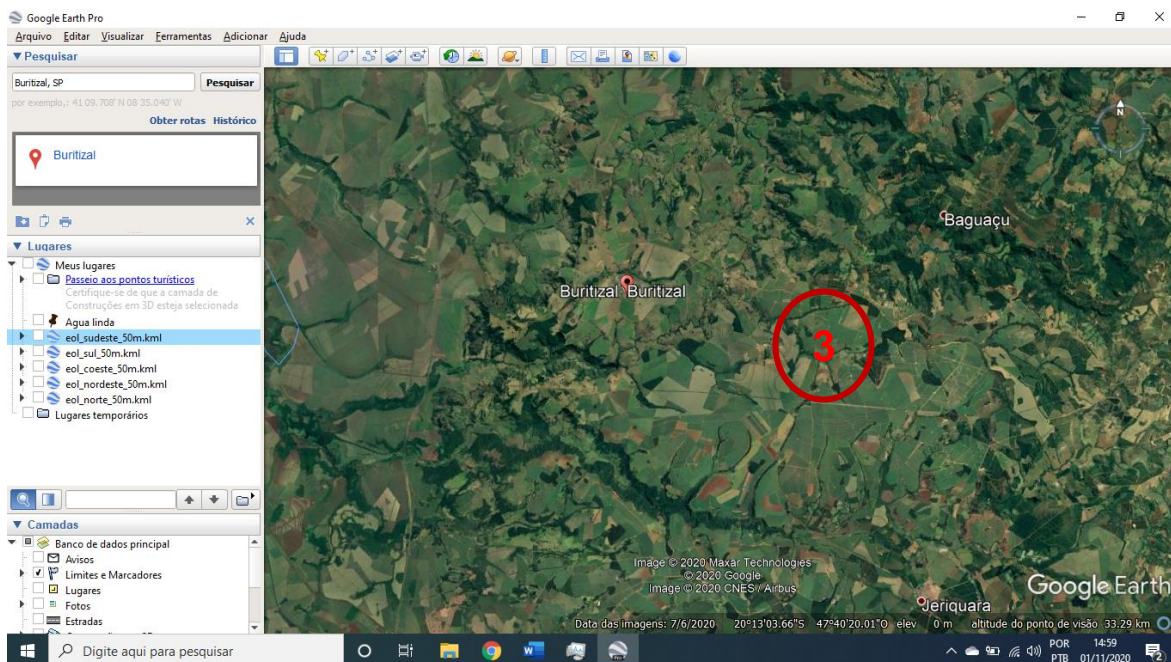
Figura 12 - Captura da tela inicial do *Google Earth*®, onde o quadro em destaque com o número 1 é o campo de pesquisa de locais e o quadro número 2 é a lista dos arquivos KML necessários.



Fonte: Autoria própria, 2020.

Com o programa aberto, pode-se fazer a pesquisa do município que está sendo analisado, neste caso Buritizal – SP e em seguida procura-se a localização da propriedade, como mostrado na Figura 13.

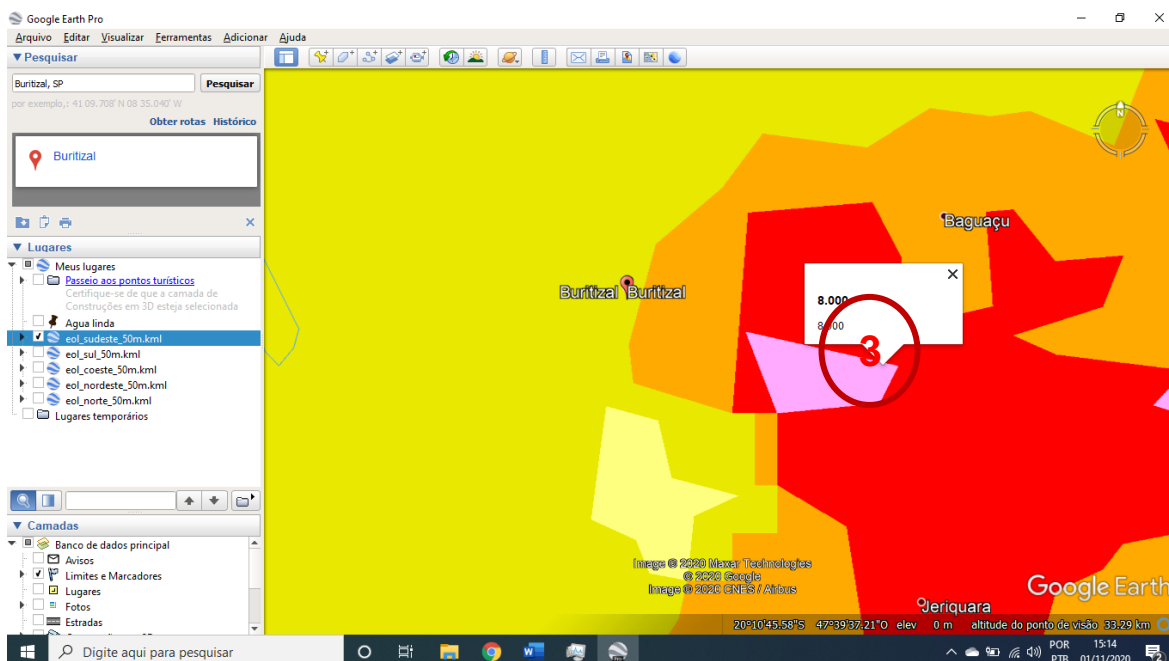
Figura 13 - Detalhe do município de Buritizal - SP com destaque para a região onde está localizada a propriedade do exemplo (número 3).



Fonte: Autoria própria, 2020.

Após encontrar a localização exata da propriedade, ativa-se o arquivo KML no painel à esquerda da tela e então seleciona sobre a região da propriedade para que seja mostrado o valor de velocidade do vento naquele local, conforme Figura 14.

Figura 14 - Mapa de velocidade média do vento na região de Buritizal -SP, mostrando o valor da velocidade do vento onde está localizada a propriedade do exemplo.



Fonte: Autoria própria, 2020.

O valor encontrado nessa propriedade foi 8 m/s. Este é o valor que será utilizado para fazer consultas no programa desenvolvido.

3.3 Geração hidrelétrica

Para utilização de geração hidrelétrica, os recursos hídricos são fundamentais, devendo ser levado em consideração o volume de água disponível, queda d'água, necessidade de barragem e reservatório. As obras civis também são de grande importância para a geração hidrelétrica, podendo possuir custos consideráveis que devem ser considerados para realização do estudo.

3.3.1 Cálculo energia disponível - Hidrelétrica

Para realizar uma avaliação preliminar do local selecionado para instalação, a Eletrobrás, apresenta nas diretrizes para Pequenas Centrais Hidrelétricas uma forma de estimar a potência a ser instalada. Inicialmente, deverá ser estimada a energia firme e a potência a ser instalada no aproveitamento, utilizando as seguintes equações (ELETROBRÁS, 2000):

$$EF_e = \frac{\mu * 9,81 * Q * H_{liq}}{1000} * \Delta t, \text{ ou} \quad (3)$$

$$EF_e = 0,0083 * Q * H_{liq} \text{ (MW médio)} \quad (4)$$

Onde:

EF_e : energia firme estimada em MW médios;

μ : rendimento do conjunto turbina-gerador, sugerindo-se o valor final de 0,85;

Δt : intervalo de tempo igual a 1 s;

Q : vazão mínima medida no local;

H_{liq} : queda líquida (m).

Como:

$$EF_e = F_c * Pot \quad (6)$$

$$Pot = \frac{EF_e}{F_c} \quad (7)$$

Onde:

Pot : é a potência instalada (MW);

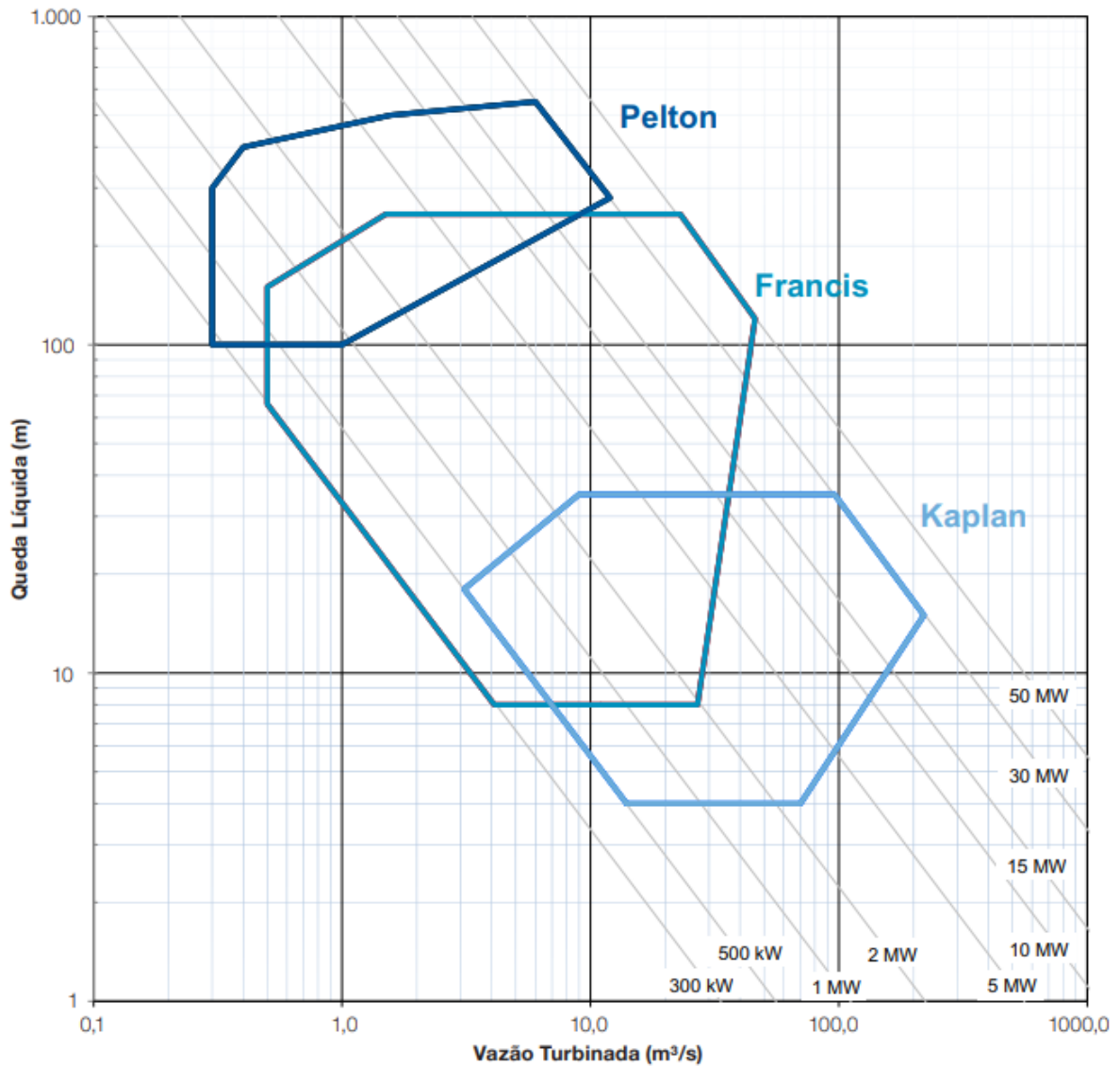
F_c : o fator de capacidade, adotado, para esta fase, igual 0,55.

O fator de capacidade é a proporção entre a produção efetiva e a capacidade total máxima num mesmo período de tempo. Considera-se 0,55 para estudo, ou seja, produção mínima de 55% da capacidade total (ELETROBRÁS, 2000), empreendimento com maior fator de capacidade, maior será a produção real.

Um componente importante para a geração hidrelétrica é a turbina, que transforma a energia potencial adquirida pela água no canal ou tubulação de adução em energia mecânica, fazendo que entre em movimento o eixo do gerador,

responsável pela geração elétrica. A Weg apresenta em seu portfólio de turbinas hidráulicas um gráfico onde indica quais modelos de turbinas são aplicados para cada variação de vazão e queda d'água, o qual pode ser observado na Figura 15.

Figura 15 - Portfólio de turbinas hidráulicas WEG



FONTE: WEG, 2020.

3.3.2 Custos de implantação da geração hidrelétrica

De acordo com levantamento de custos de vinte projetos, realizados por (SIQUEIRA, R.B.P), considerando uma média simples para o valor de construção de uma PCH em relação a potência instalada, tem-se que o custo estimado para construção e produção de 1kW seja de R\$5.400,00. O fabricante informa que a porcentagem média para representação de fornecimento na formação do preço total de uma usina considera que:

- obras civis representam de 50 a 60 %;
- turbina, gerador e associados representam de 20 a 30 %;
- equipamentos elétricos, incluindo a subestação, representam de 10 a 15 %;
- equipamentos hidromecânicos e levantamentos representam de 10 a 15 %.

3.4 Biomassa – Biogás

O uso da biomassa em biodigestores apresenta notáveis vantagens na área rural, onde as sobras de resíduos culturais e dejetos de animais podem ser utilizados para obter o biogás e o biofertilizante, transformando resíduos em uma fonte de energia renovável, reduzindo impactos ambientais do uso de combustíveis fósseis e da poluição causada pelos dejetos animais.

Resíduos animais e agroindustriais, se utilizados em biodigestores, podem gerar o biogás, que possui grande poder calorífico, de acordo com a concentração de Metano (CH_4). A construção do biodigestor dependerá de diversos fatores, como a quantidade de matéria disponível, área onde será instalado, os diferentes modelos de construção (alvenaria, material plástico, etc.)

A composição exata do biogás e sua produção dependerá do tipo de biomassa utilizada, do modelo do biodigestor e das condições de operação (temperatura, pressão, pH, tempo de retenção), que são indicativos do funcionamento do processo (SILVA, 1996). A Tabela 1 apresenta a composição aproximada do biogás, e a Tabela 2 o PCI, Poder Calorífico Inferior, que é utilizado para determinar o potencial teórico de energia contido nos combustíveis, quanto maior o PCI, maior a quantidade de metano (CH_4).

Tabela 4 - Composição do biogás

Gases	Quantidade (%)
Metano (CH ₄)	50 a 80
Dióxido de Carbono (CO ₂)	20 a 40
Hidrogênio (H ₂)	1 a 3
Nitrogênio (N ₂)	0,5 a 3
Ácido Sulfídrico (H ₂ S) e outros	1 a 5

Fonte: La Farge (1979).

Tabela 5 - PCI do biogás em função da composição química

Composição Química do Biogás	Poder Calorífico Inferior (kcal/kg)	PCI-Poder Calorífico Inferior (kcal/Nm ³)
10% CH ₄ , 90% CO ₂	465,43	8856,066
40% CH ₄ , 60% CO ₂	2338,52	3424,29
60% CH ₄ , 40% CO ₂	4229,98	5136,46
65% CH ₄ , 35% CO ₂	4831,14	5564,5
75% CH ₄ , 25% CO ₂	6253,01	6420,59
95% CH ₄ , 05% CO ₂	10469,6	8132,78
99% CH ₄ , 01% CO ₂	11661,02	8475,23

Fonte: Adaptado de Ianicelli (2008).

3.4.1 Cálculo energia disponível

Para o cálculo da energia disponível, deve-se considerar primeiramente a energia térmica disponível no biogás, que pode ser calculada a partir da equação 1, (LIMA e PASSAMANI, 2012). Para definições de volume de biogás, os parâmetros utilizados estão apresentados na Tabela 3, e está relacionada diretamente com a quantidade de animais produtores de esterco, a matéria prima para o biodigestor.

$$Et = (Q_{biogás} * tch_4) * PCI \quad (8)$$

Onde:

E_t : Energia térmica disponível no biogás (kcal/dia);

$Q_{biogás}$: Volume médio (m³/dia);

PCI: Poder calorífico inferior do biogás (kcal/m³);

t_{ch_4} : Teor de metano (CH₄) na composição do biogás;

Tabela 6 - Produção de gás por dejetos de animais

Material (esterco)	kg de dejetos/dia	m ³ de gás/kg de dejetos	m ³ de gás/animal/dia
Aves	0,09	0,055	0,0049
Bovinos	10	0,04	0,4
Equinos	6,5	0,048	0,31
Ovinos	0,77	0,07	0,05
Suínos	2,25	0,064	0,14

Fonte: FARRET,2010.

A potência elétrica do biogás possui variáveis referentes aos equipamentos de conversão de energia, o qual pode ser utilizado na combustão direta ou indireta. No processo de combustão direta, o biogás é utilizado para alimentar caldeiras, turbinas a gás, aquecedores e secadores, além de utilizar a energia térmica produzida na geração de eletricidade. Aplicado como combustível em motores a combustão interna, acoplados a geradores, transformam a energia mecânica em energia elétrica, e para melhorar a eficiência do sistema, a água utilizada para resfriar o sistema de geração, pode ser aproveitada para aquecimento de ambientes e uso diversos.

Levando em consideração apenas o uso do biogás como combustível para motores a combustão interna, acoplados a geradores, a potência elétrica é definida pela Equação 9 (LIMA e PASSAMANI, 2012).

$$PE_{biogás} = \frac{E_t * 4,184 * \eta_{tec} * \eta_{gerador}}{86400}$$

(9)

Onde:

$PE_{biogás}$: Potência elétrica do biogás (kW);

4,184: Fator de conversão de “kcal” para “kJ”;

η_{tec} : Eficiência da tecnologia de conversão (motor combustão interna);

$\eta_{gerador}$: Rendimento do gerador;

86400: Fator de conversão de dias para segundos.

Com o valor da potência elétrica que pode ser convertida a partir do biogás, é se torna possível o cálculo da energia elétrica gerada, de acordo com o tempo de operação considerado, como apresenta a Equação 10.

$$E_e = PE_{biogás} * T_{operação} \quad (10)$$

Onde:

$PE_{biogás}$: Potência elétrica do biogás (kW);

$T_{operação}$: Tempo operação do motor (h/dia);

E_e : Energia elétrica gerada (kWh/dia).

3.4.2 Custos implantação geração à biogás

Para levantamento orçamentário a fim de estudo da viabilidade do investimento não será considerado as taxas de juros de financiamento, custos de depreciação dos bens e custos anuais de operação e manutenção, no cálculo do valor do kWh da fonte de geração.

Para a geração de energia elétrica, a partir do uso do biogás, os itens as serem considerados no levantamento de custo são: Aquisição do grupo gerador, construção do biodigestor, construção do abrigo do grupo gerador, instalações elétricas e estimativa de mão de obra para implantação do projeto.

Considerando o estudo realizado por (CERVI, ESPERANCINI e BUENO, 2010) e pesquisas de mercado, o valor total do investimento é dividido conforme Tabela 4. Através das pesquisas de mercado, a estimativa do valor médio para o grupo gerador será fixado em R\$1.400,00/kW (um mil e quatrocentos reais, por

quilowatt), por exemplo, em uma instalação com capacidade de geração de 40kW, o grupo gerador terá custo aproximado de R\$56.000,00 (cinquenta e seis mil reais), 55% do valor a ser investido. A estimativa completa do investimento do exemplo é apresentado na Tabela 8.

Tabela 7 - Divisão custos geração com biogás

Descrição	Participação custo total
Aquisição do grupo gerador	55%
Construção do biodigestor	30%
Construção do abrigo do grupo gerador	2%
Instalações elétricas	8%
Mão de obra para implantação	5%

Fonte: Autoria própria.

Tabela 8 - Valor total estimado de investimento para grupo gerador de 40kW

Descrição	Valor	Participação custo total
Aquisição do grupo gerador	R\$ 56.000,00	55%
Construção do biodigestor	R\$ 30.545,45	30%
Construção do abrigo do grupo gerador	R\$ 2.036,36	2%
Instalações elétricas	R\$ 8.145,45	8%
Mão de obra para implantação	R\$ 5.090,91	5%
Total	R\$ 101.818,18	

Fonte: Autoria própria.

4. FINANCIAMENTOS E CRÉDITO RURAL

O crescente compromisso de financeiras com desenvolvimento sustentável está abrindo mercados para liberação de créditos e financiamentos para investimentos em energias renováveis. O custo dos diferentes tipos de geradores não é estabelecido pela ANEEL, devendo ser um fator importante, o estudo de mercado, para elaboração do projeto da central geradora, visando a melhor solução energética e financeira para a propriedade rural. A seguir, serão apresentados alguns programas de financiamentos que, para maiores detalhes e simulações, deve-se contatar a empresa responsável.

4.1 BNDES

4.1.1 Finame energia renovável

Programa descrito como “Financiamento para aquisição e comercialização de sistemas de geração de energia solar e eólica e aquecedores solares, incluindo serviço de instalação e capital de giro associado” (BNDES-Finame, 2020), podendo ser solicitado por produtores rurais e outras classes. Dentre os itens financiáveis, estão: sistemas geradores fotovoltaicos de até 375kw, aerogeradores de até 100kw, aquecedores/coletores solares (aquecimento d’água) e serviços de instalação para os itens citados. Por se tratar de uma operação indireta do BNDES, existem variações das taxas de juros para cada Agente Financeiro. A participação do BNDES é de até 100% dos itens financiáveis, e o prazo de até 10 anos para pagamento, incluindo período de 2 anos de carência.

4.1.2 Fundo clima - Subprograma energias renováveis

Programa descrito como “Apoio a investimentos em geração e distribuição local de energia renovável, no desenvolvimento tecnológico e na cadeia produtiva do setor de energias renováveis” (BNDES-Fundo clima, 2020), podendo ser

solicitado por Pessoas Jurídicas de Direito Privado com sede e administração no País; e pessoas Jurídicas de Direito Público. Dentre os itens financiáveis, estão:

1. Desenvolvimento tecnológico de energia solar, eólica, hidráulica, biomassa e dos oceanos, e da cadeia produtiva para a difusão do uso de energia solar e dos oceanos.
2. Projetos de geração de energia elétrica ou conversão energética a partir do uso de biomassa, incluindo a produção e utilização de biogás para fins energéticos.
3. Projetos de geração de energia elétrica a partir da energia eólica ou hidráulica, até 1 MW, ambas apenas em sistemas isolados.
4. Projetos de geração de energia elétrica a partir da energia solar, incluindo geração distribuída, e dos oceanos.

As taxas de juros dependem da modalidade de apoio do BNDES, podendo ser direto ou indireto. A participação do BNDES é de até 80% dos itens financiáveis, tendo valor mínimo de R\$3 milhões de reais e máximo de R\$30 milhões a cada 12 meses, e o prazo de até 16 anos para pagamento, incluindo período de 8 anos de carência.

4.2 Banco do Brasil

A fim de apoiar o desenvolvimento da produção de energia limpa e sustentável, o Banco do Brasil possui o Programa Agro Energia, cujo objetivo é realizar a ampliação dos negócios do setor agropecuário, com a implantação de usinas geradoras de energias alternativas e renováveis. O programa é destinado a produtores rurais (pessoas físicas e jurídicas) e cooperativas do agronegócio, podendo ser financiado a aquisição de micro ou minigeradoras, para operar no sistema de compensação (crédito de energia) (BANCO DO BRASIL, 2020).

O programa Agro Energia é dividido em sete denominações, com intuito de agrupar as modalidades para melhor atender as necessidades de cada grupo, no que diz respeito a financiamentos para setor energético, apenas cinco programas podem atender, como descrito a seguir.

4.2.1 Pronaf Eco

Programa promove o investimento na implantação, ampliação ou modernização da estrutura de produção, beneficiamento, industrialização e de serviços, no estabelecimento rural ou em áreas comunitárias rurais próximas, de acordo com projetos específicos. As práticas sustentáveis permitem o uso de tecnologias como energia renovável, tecnologias ambientais, projetos de adequação ambiental, etc. Pode ser solicitado por produtores familiares que apresentem Declaração de Aptidão ao Pronaf (DAP). Os produtores que aderirem ao programa possuem o limite máximo de financiamento de R\$ 165 mil, com taxa de juros de 2,75% a.a. para projetos eco, e até 10 anos para pagamento, incluídos 5 anos de carência (BANCO DO BRASIL, 2020).

4.2.2 Pronaf Agroindústria

Linha de crédito para a produção agropecuária, de produtos florestais e de extrativismo ou de produtos artesanais, além da exploração de turismo rural, disponibilizando crédito para financiamento de investimentos, inclusive para o uso de tecnologias de energia renovável. O grupo de beneficiários atendidos pelo programa é formado por agricultores familiares, empreendimentos familiares rurais e cooperativas constituídas por agricultores familiares. Os produtores que aderirem ao programa possuem o limite máximo de financiamento de R\$ 165 mil para pessoa física, R\$330 mil para empreendimentos familiares e para cooperativas de até R\$35 milhões, com taxa de juros pré-fixada 4,0% a.a., e até 10 anos para pagamento, incluídos 3 anos de carência (BANCO DO BRASIL, 2020).

4.2.3 Prodecoop

Linha de crédito que tem como objetivo incrementar a competitividade do complexo agroindustrial das cooperativas agropecuárias, por meio da modernização dos seus sistemas produtivos e de comercialização. Dentre os

setores enquadráveis está a Implantação de sistemas para geração e cogeração de energia e linhas de ligação, para consumo próprio como parte integrante de um projeto de agroindústria. Podendo ser financiado até R\$ 150 milhões por cooperativa, por ano agrícola, sendo que o limite de financiamento é até 90% do valor do projeto, taxas incidentes de 7%a.a. e prazo de pagamento de até 10 anos, com carência de até 3 anos (BANCO DO BRASIL, 2020).

4.2.4 Inovagro

O Inovagro tem como finalidade financiar a inovação tecnológica nas propriedades rurais, apoiando o produtor rural nos investimentos necessários à incorporação de inovação tecnológica em sua propriedade, contribuindo para o aumento da produtividade, da adoção de boas práticas agropecuárias da gestão do seu empreendimento, além de colaborar com a inserção competitiva dos produtores rurais nos diferentes mercados consumidores (BANCO DO BRASIL, 2020).

4.2.5 FCO Rural Investimento Agropecuário

FCO Rural Investimento Agropecuário é o crédito destinado a investimentos fixos e semifixos na região Centro-Oeste, com ele você pode financiar a aquisição de materiais e equipamentos de uso destinados a armazenagem, barragens, obras civis, máquinas, implementos, energia, irrigação, entre outras atividades. Pode ser solicitado por produtores rurais e cooperativas de produtores rurais, desde que se dediquem à atividade produtiva no setor rural na Região Centro-Oeste. Taxas de Juros varia de 4,30% a.a. a 5,59% a.a., e o prazo de pagamento de até 20 anos, com máximo 12 anos de carência, a depender do item financiado (BANCO DO BRASIL, 2020).

4.3 Caixa econômica federal

A Caixa apoia quem desenvolve projetos destinados à economia de energia e, principalmente, à utilização de energias alternativas renováveis. Empreendedores privados que atuam nos setores de energia e bioenergia podem contar com um financiamento de longo prazo para gerar, transmitir e distribuir energia. Projetos financiáveis: Pequenas Centrais Hidrelétricas; Usinas Hidrelétricas; Parques Eólicos; Linhas de Transmissão; Usinas de Alcool e Açúcar; Outros Projetos de Bioenergia (CAIXA, 2020).

5. DISCUSSÃO E RESULTADOS ESTUDADOS

5.1 Período de retorno do investimento – *Payback*

Para a avaliação econômico-financeira de sistemas de geração distribuída sob a ótica do consumidor, são utilizados conceitos de matemática financeira como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e *payback*.

Para encontrar o tempo de retorno do investimento neste trabalho, utiliza-se o cálculo do *payback* simples. O método do *payback* tem como pressuposto avaliar o tempo que o projeto demorará em retornar o total do investimento inicial. Quanto mais rápido o retorno, menor o *payback* e melhor o projeto. É o método que mostra o tempo que o investidor precisará para recuperar o capital investido por meio dos ganhos que o investimento proporcionará (CAVALCANTE, 1998) e pode ser calculado como mostrado na Equação 11:

$$Payback [meses] = \frac{\text{Valor do novo projeto [R\$]}}{\text{Valor do consumo mensal [R\$]}} \quad (11)$$

5.2 Resultados

Com embasamento teórico para auxiliar nos cálculos de geração das fontes de energia em estudo, e auxílio do software Excel, foi implementada uma interface para coleta de dados como, localização, consumo mensal e recursos disponíveis. Como resultado da simulação, são apresentados os custos, tempo de retorno do investimento (*payback*) e a potência gerada, para cada tipo de geração, além de relacionar o investimento com menor custo e *payback*.

Para apresentação da interface do aplicativo desenvolvido, serão analisados 2 estudos de caso, para propriedades rurais localizadas em Anori – AM e Buritizal – SP, com diferentes opções de recursos para análise da viabilidade. Foram considerados estes municípios pois Anori apresenta uma velocidade média de ventos e radiação solar média significativamente menor do que Buritizal. Porém Anori possui maior potencial hídrico.

5.2.1 Caso 1

5.2.1.1 Caso 1-A


Considera-se uma propriedade rural, localizada em Anori, no interior do estado do Amazonas, na qual a demanda do consumo elétrico atende as necessidades das atividades econômicas, como: criação de aves de corte, gado leiteiro e suinocultura. Para melhor visualização, os itens necessários para preenchimento das informações no aplicativo estão relacionados abaixo:

- Localização: Anori – Amazonas;
- Concessionária: AmE – Amazonas energia;
- Consumo médio [kWh/mês]: 1.500;
- Curso d'água com: 10 metros de queda e vazão anual média 2m³/s;
- Velocidade média anual vento: 3 m/s;
- Animais de produção em situação de confinamento:
 - Aves: 2000
 - Bovinos: 150;
 - Suínos: 300.

Para início da simulação do investimento, é necessário preencher os dados de localização da propriedade na tela inicial, destacado em amarelo na Figura 16. Preenchida a localização, o programa irá buscar na base de dados o valor de incidência solar média no município. Segundo passo, é inserir as informações de demanda e condições disponíveis, que abre a ficha, após clique no botão “2-Inserir Informações”, destacado em vermelho na Figura 16.

Figura 16 - Tela inicial programa de simulação.


VEJA QUAL TIPO DE GERAÇÃO RENOVÁVEL É MAIS ADEQUADA PARA SUA PROPRIEDADE



1- Primeiro escolha o seu ESTADO e CIDADE abaixo

ESTADO	CIDADE
AM	Anori

2 - Inserir Informações



Veja os custos e tempo de Payback de cada geração

3 - Ver Resultados

Fonte: Autoria própria.

O preenchimento dos dados da propriedade na ficha tem a função de coletar informações para os cálculos das fontes disponíveis e apresentar a melhor fonte de geração para um futuro investimento. Com as características do caso em estudo, localizado em Anori-AM, os dados da propriedade ficam conforme descritos na Figura 17.

Após o preenchimento dos dados, um clique no botão “GRAVAR DADOS”, destacado em vermelho na Figura 17, irá salvar as informações no banco de dados, possibilitando o cálculo e apresentação do resultado do estudo das fontes renováveis.

Figura 17 - Ficha de dados da propriedade.

Programa TCC

DADOS DA PROPRIEDADE

CONCESSIONARIA

CONSUMO EM kWh/mês OU CUSTO MENSAL EM R.\$

POSSUI CURSO D'AGUA

ALTURA QUEDA D'AGUA EM METROS VAZÃO ANUAL MÉDIA m³/s

VELOCIDADE DO VENTO EM m/s (CONSULTAR NO MAPA)

POSSUI ANIMAIS DE PRODUÇÃO

TIPO	QUANTIDADE
AVES	<input type="text" value="2000"/>
BOVINOS	<input type="text" value="150"/>
EQUINOS	<input type="text"/>
OVINOS	<input type="text"/>
SUINOS	<input type="text" value="300"/>

GRAVAR DADOS

Fonte: Autoria própria, 2020.

Para apresentação dos resultados, necessário um clique no botão “3 – Ver resultados”, destacado em laranja na Figura 16, e então abre uma nova aba na planilha. A apresentação dos resultados obtidos é dividida em informações de texto e gráficas: é apresentada a geração que possui o menor payback e o menor custo, os gráficos apresentam o custo, payback e a geração total de cada fonte de energia, como apresentado na Figura 18 - Resultados do estudo de viabilidade caso 1-A.Figura 18.

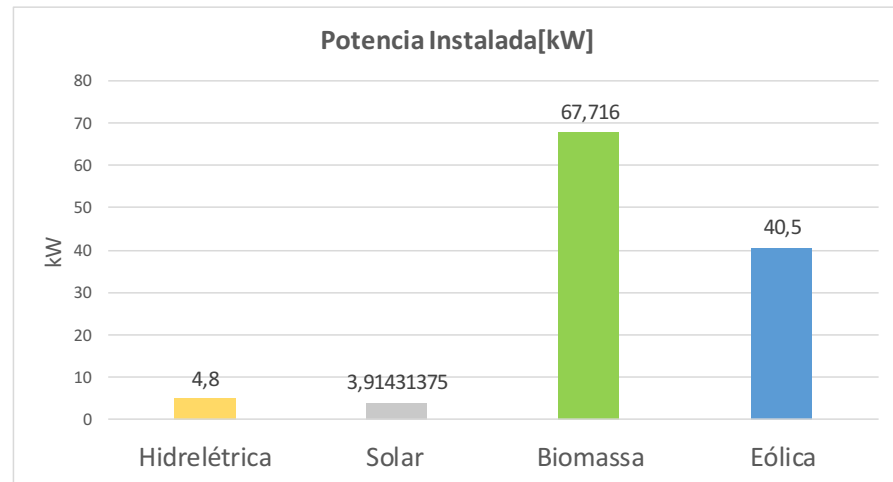
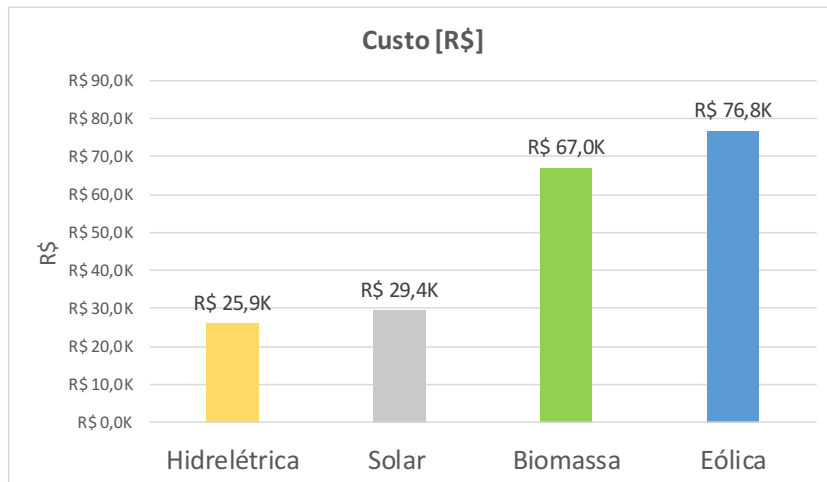
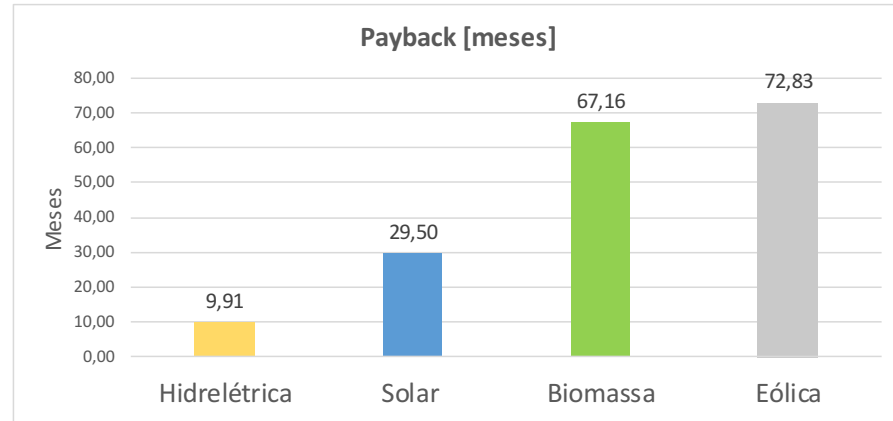
Figura 18 - Resultados do estudo de viabilidade caso 1-A.

Veja qual geração é mais viável para propriedade

A geração com o menor tempo de payback é a Hidrelétrica com aproximadamente 10 meses.

E a geração que oferece o menor custo é a Hidrelétrica com o valor de R\$ 25920

[Nova Consulta](#)



Fonte: Autoria própria, 2020.

5.2.1.2 Caso 1-B

Considerando uma propriedade rural, localizada em Anori, no interior do estado do Amazonas, com características distintas de consumo e recursos disponíveis do caso 01-A.

- Localização: Anori – Amazonas;
- Concessionária: AmE – Amazonas energia;
- Consumo médio [kWh/mês]: 2.500;
- Curso d'água com: 2 metros de queda e vazão anual média 0,1m³/s;
- Velocidade média anual vento: 3 m/s;
- Incidência solar: Busca automática base de dados, de acordo com a localização preenchida;
- Animais de produção em situação de confinamento:
 - Aves: 3000;
 - Bovinos: 250;
 - Equinos: 10
 - Ovinos: 40;
 - Suínos: 300.

Inserindo os dados no programa, de acordo com as etapas já conhecidas, obtêm-se um novo estudo para análise de investimento, conforme apresentado na Figura 19.

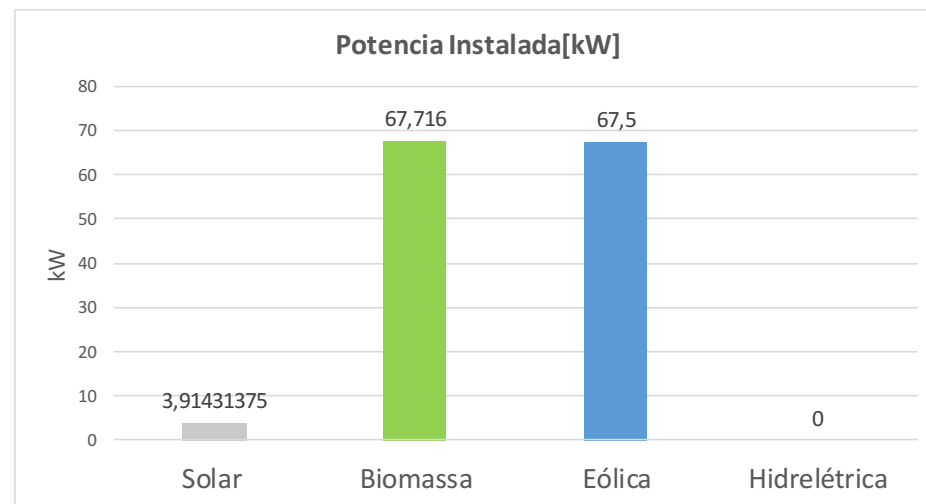
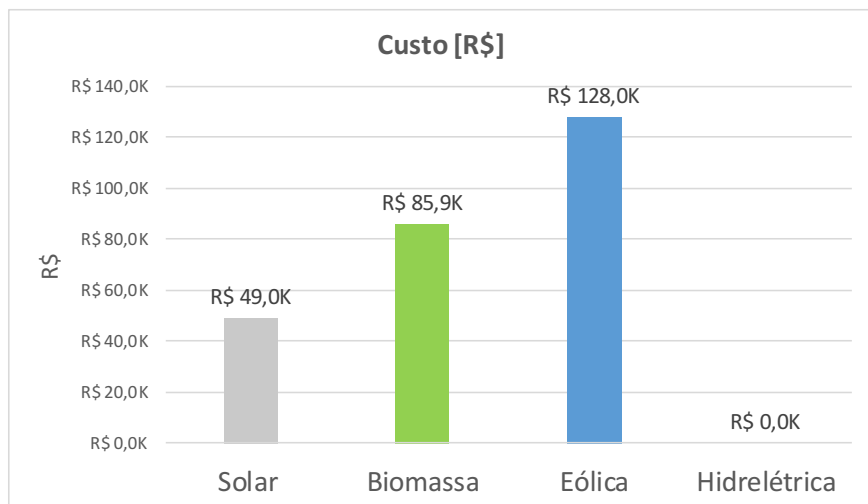
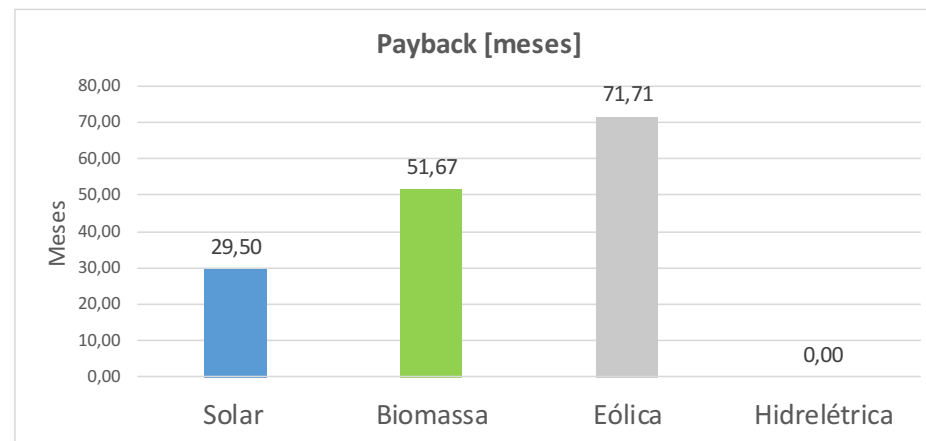
Figura 19 - Resultados do estudo de viabilidade caso 1-B.

Veja qual geração é mais viável para propriedade

A geração com o menor tempo de payback é a Solar com aproximadamente 29,6 meses.

E a geração que oferece o menor custo é a Solar com o valor de R\$ 49040

[Nova Consulta](#)



Fonte: Autoria própria.

5.2.1.3 Considerações caso 1

Considerando os recursos disponíveis na propriedade, no caso 1-A, ao realizar a simulação, a melhor fonte de energia a ser implementada é a hidrelétrica, que apresenta o menor investimento e o menor tempo de retorno do investimento (payback) para geração de energia elétrica para suprir toda a demanda das instalações. A energia solar fotovoltaica é a segunda opção com menor custo, biomassa e eólica, são outras opções de investimento.

Ao alterar as características de consumo e de recursos, como no caso 1-B, ao executar o programa, nota-se que a fonte de energia hidrelétrica não apresenta resultado, se tornando ineficiente, devido à queda d'água e vazão não possuir potencial de geração para atender demanda. A energia fotovoltaica apresenta-se como a melhor fonte de geração, possuindo menor custo de investimento e menor payback, seguida pelas fontes de energia à biomassa e eólica.

5.2.2 Caso 2

5.2.2.1 Caso 2-A

Considerando uma propriedade rural, localizada em Buritizal, no interior do estado de São Paulo, com as características de consumo e recursos disponíveis conforme apresentado:

- Localização: Buritizal – São Paulo;
- Concessionária: CPFL Paulista;
- Consumo médio [kWh/mês]: 1.500;
- Curso d'água com: 10 metros de queda e vazão anual média $2\text{m}^3/\text{s}$;
- Velocidade média anual vento: 8 m/s;

- Incidência solar: Busca automática base de dados, de acordo com a localização preenchida;

- Animais de produção em situação de confinamento:

- Aves: 2000

-Bovinos: 150;

- Suínos: 300.

Inserindo os dados no programa, de acordo com as etapas já conhecidas, obtêm-se um novo estudo para análise de investimento, conforme apresentado na Figura 20.

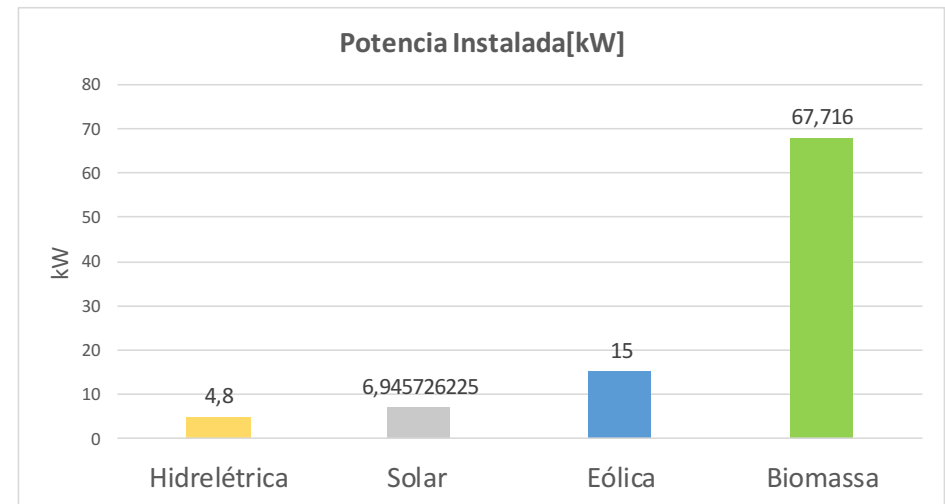
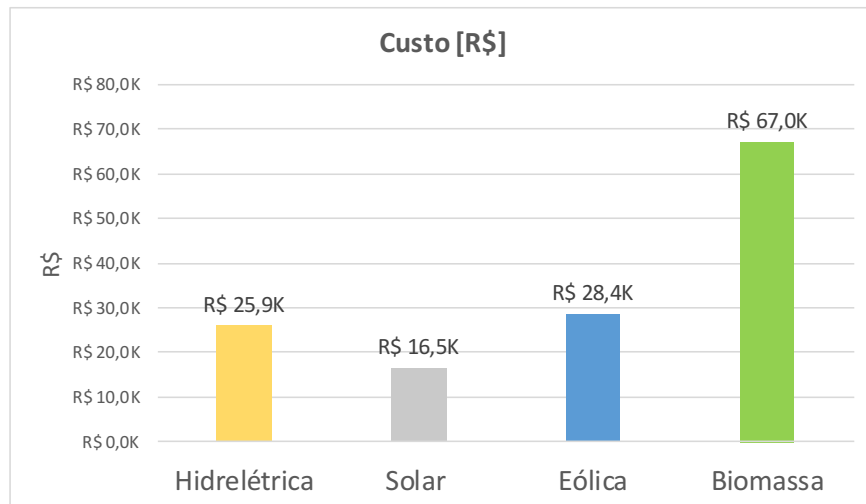
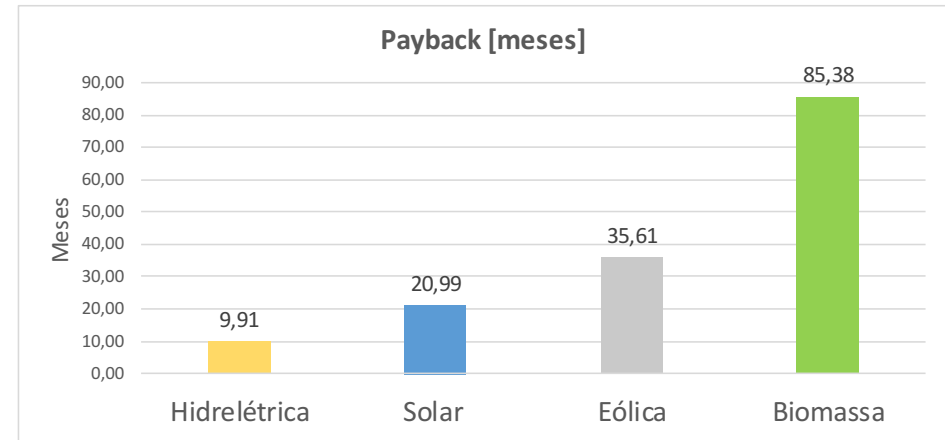
Figura 20 - Resultados do estudo de viabilidade caso 2-A.

Veja qual geração é mais viável para propriedade

A geração com o menor tempo de payback é a Hidrelétrica com aproximadamente 10 meses.

E a geração que oferece o menor custo é a Solar com o valor de R\$ 16470

[Nova Consulta](#)



Fonte: Aatoria própria.

5.2.2.2 Caso 2-B

Considerando uma propriedade rural, localizada em Buritizal, no interior do estado de São Paulo, com as mesmas características de consumo e recursos disponíveis do caso 1-B.

- Localização: Buritizal – São Paulo;
- Concessionária: CPFL Paulista;
- Consumo médio [kWh/mês]: 2.500;
- Não possui curso d'água;
- Velocidade média anual vento: 8 m/s;
- Animais de produção em situação de confinamento:
 - Aves: 2500
 - Bovinos: 250;
 - Suínos: 200;

Inserindo os dados no programa, de acordo com as etapas já conhecidas, obtêm-se um novo estudo para análise de investimento, conforme apresentado na Figura 21.

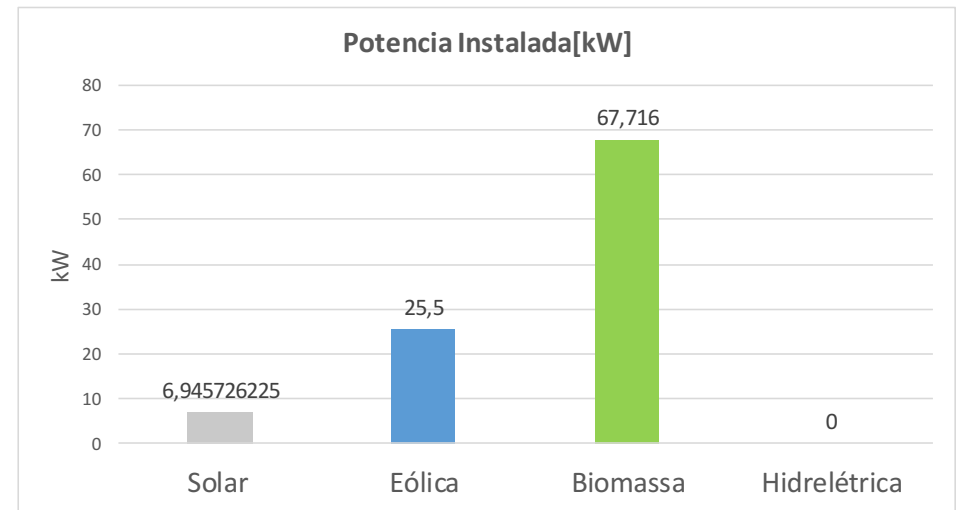
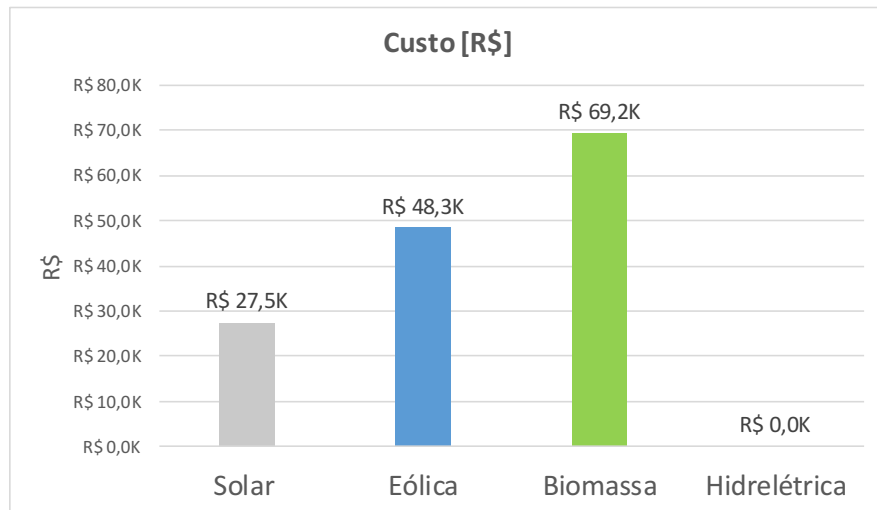
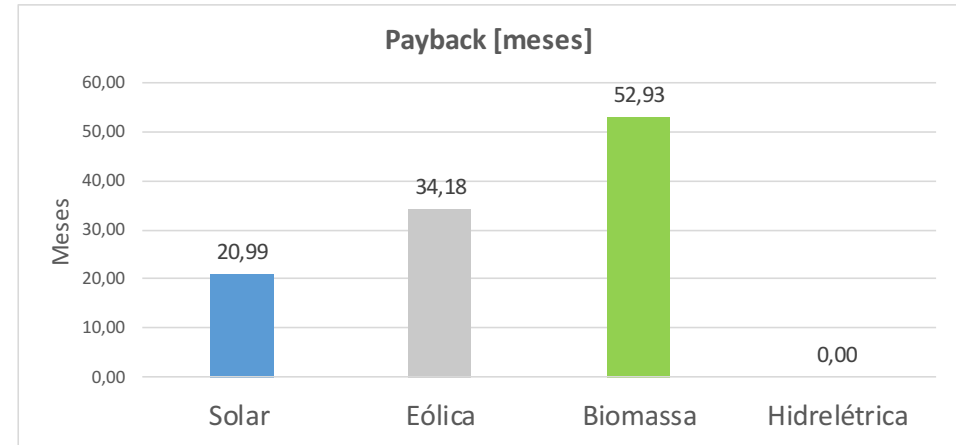
Figura 21 - Resultados do estudo de viabilidade caso 2-B.

Veja qual geração é mais viável para propriedade

A geração com o menor tempo de payback é a Solar com aproximadamente 21 meses.

E a geração que oferece o menor custo é a Solar com o valor de R\$ 27450

[Nova Consulta](#)



Fonte: Autoria própria.

5.2.2.3 Considerações caso 2

Considerando os recursos disponíveis na propriedade, no caso 2-A, a melhor fonte de energia a ser implementada em relação ao *payback* é a hidrelétrica, aproximadamente 10 meses, já a energia solar fotovoltaica, apresenta menor custo de investimento, logo para uma análise de custo real, será preciso buscar empresas que forneçam orçamentos detalhados, e assim implementar o projeto com a melhor opção para o proprietário, que pode escolher um investimento menor ou o que possui o retorno financeiro mais rápido.

Ao alterar as características de consumo e de recursos, caso 2-B, ao executar o programa, nota-se que a fonte de energia hidrelétrica não apresenta resultado, se tornando ineficiente, devido à queda d'água e vazão não possuir potencial de geração para atender demanda. A energia fotovoltaica apresenta-se como a melhor fonte de geração, possuindo menor custo de investimento e menor *payback*, seguida pelas fontes de energia à biomassa e eólica.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise realizada nos casos propostos no trabalho, o aplicativo obteve um bom resultado considerando a relação entre os recursos renováveis disponíveis e o consumo da propriedade, apresentando de maneira simples e dinâmica o custo, o tempo de *payback* e potência a ser instalada no projeto, indicando para o usuário onde focar os estudos de seu empreendimento.

Com o atual banco de dados do programa, que considera os equipamentos de cada tipo de geração e os seus custos, não há como comparar as gerações de forma igualitária visto que os custos dos equipamentos são estimados e alguns tipos de gerações só se tornam viáveis a partir de um consumo muito alto, como é o caso da biomassa. Isso acontece devido à dificuldade de se obter as especificações e custos reais de equipamentos com os fabricantes ou revendedores, o que pode causar resultados tendenciosos para algum tipo de geração, porém nota-se que o cálculo feito pelo programa resulta em valores aproximados, que auxiliam em uma análise inicial de viabilidade para implantação de uma geração distribuída.

6.1 Oportunidades de estudos futuros

Este trabalho proporciona uma introdução ao estudo de viabilidade das gerações distribuídas e oferece algumas possibilidades de aprofundamento, como:

- Pesquisa de mercado para formação de um banco de dados com uma amostragem maior de geradores e custos mais realistas para avaliar como isso influencia no investimento inicial;
- Estudo da eficiência dos diferentes tipos de turbinas hidrelétricas e como influenciam no retorno do investimento;
- Estudo da eficiência dos diferentes tipos de geradores eólicos e como influenciam no retorno do investimento;
- Estudos da implantação de sistemas de geração distribuída *on-grid*, levando em consideração os créditos de energia e como afetam o retorno do investimento.

REFERÊNCIAS

ACKERMANN, T.; ANDERSSON, G.; SÖDER, L. **Distributed generation: a definition**. Electric Power Systems Research, v. 57, n. 3, p. 195-204, abr. 2001. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378779601001018>>. Acesso em: 19 out. 2018.

AMARANTE, O. A. et al. **Atlas do potencial eólico brasileiro**. Brasília: MME; Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2001. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/atlas_eolico_brasil/atlas-web.htm>.

ANEEL, 2008a. **Atlas Fontes renováveis – PARTE II – Energia Hidráulica**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap3.pdf>. Acesso em: 12 out. 2018.

ANEEL, 2008b. **Atlas Fontes renováveis - PARTE II – Biomassa**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap4.pdf>. Acesso em: 16 out. 2018.

ANEEL, 2013a. **Registro de Central Geradora de Capacidade Reduzida**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/outorgas/geracao/-/asset_publisher/mJhnKli7qcJG/content/registros-de-centrais-geradoras-de-capacidade-reduzida-todas-as-fontes-/655808?inheritRedirect=false>. Acesso em: 13 out. 2018.

ANEEL, 2013b. **Geração Distribuída**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset_publisher/CegkWaVJWF5E/content/geracao-distribuida-introduc-1/656827?inheritRedirect=false>. Acesso em: 13 out. 2018.

BAJAY S., JANNUZZI G. M., HEIDEIER R. B., VILELA I. R., PACCOLA J. A., GOMES R. **Geração distribuída e eficiência energética: Reflexões para o setor elétrico de hoje e do futuro**. International Energy Initiative –IEI Brasil., 2018. Disponível em: <<http://iei-brasil.org/2018/01/31/livro-geracao-distribuida-e-eficiencia-energetica/>>. Acesso em: 19 out. 2018.

BANCO DO BRASIL, 2020 - **Programa Agro Energia do Banco do Brasil**. Disponível em: <https://www.bb.com.br/pbb/pagina->

inicial/agronegocios/agronegocio---produtos-e-servicos/agronegocio-sustentavel/programa-agro-energia#/>. Acesso em: 08 set.2020.

BNDES - FINAME, 2020. **Finame - Energia Renovável**. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finame-energia-renovavel>>. Acesso em: 08 set.2020.

BNDES - FUNDO CLIMA, 2020. **Fundo Clima - Subprograma Energias Renováveis**. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/fundo-clima-energias-renovaveis>>. Acesso em: 08 set.2020.

CAIXA, 2020. **Energias renováveis**. Disponível em: <<http://www.caixa.gov.br/sustentabilidade/produtos-servicos/energias-renovaveis/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 08 set.2020.

CEPEL, 2001. **Atlas do potencial eólico brasileiro**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/atlas%20do%20potencial%20eolico%20brasileiro.pdf>. Acesso em: 19 out. 2018.

CEPEL, 2014. **Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos. Grupo de Trabalho de Energia Solar**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/manual_de_engenharia_fv_2014.pdf>. Acesso em: 19 out. 2018.

CERVI, R. G.; ESPERANCINI, M. S. T.; BUENO, O.C.; **Viabilidade Econômica da Utilização do Biogás Produzido em Granja Suinícola para Geração de Energia Elétrica**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.30, n.5, p.831-844, set./out. 2010. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/eagri/v30n5/v30n5a06.pdf>>. Acesso em: 08 set.2020.

CHAN H., SOPIAN K. **Renewable Energy in Developing Countries: Local Development and Techno-Economic Aspects**. Springer International Publishing, 2018. Disponível em: <<http://80.82.78.35/get.php?md5=67771d44d4602c36a48831f0a6f56620&key=UD3MJ1OMZFVSJSPC&mirr=1>>. Acesso em: 30 ago. 2020.

ELETROBRÁS, 2000. **Diretrizes para estudos e projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas**. Eletrobrás – Centrais Elétricas Brasileiras S.A. Ministério das minas e energia – Diretoria de Engenharia.

FARRET, Felix Alberto. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica**. 2ª ed. revista e ampliada – Editora da UFSM - Santa Maria, 2010.

FREITAS, B. M. R., HOLLANDA L. **Micro e Minigeração no Brasil: Viabilidade Econômica e Entraves do Setor**. White Paper nº1. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas (FGV), 2015. Disponível em: <http://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/artigos/whitepaper_micro_e_minigeracao_no_brasil_18_05_15_0.pdf>.

IANNICELLI, L. A. **Reaproveitamento Energético do Biogás de Uma Indústria Cervejeira**. 2008. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de Taubaté. São Paulo, 2008.

IDEAL, 2020. **Guia de microgeradores eólicos. Instituto para desenvolvimento de energias Alternativas na América Latina**. Disponível em: <<http://institutoideal.org/eolica/>>. Acesso em: 19 out. 2018.

IEI Brasil, 2018. **Geração distribuída e eficiência energética: Reflexões para o setor elétrico de hoje e do futuro**. International Energy Initiative – IEI Brasil. Disponível em: < <http://iei-brasil.org/2018/01/31/livro-geracao-distribuida-e-eficiencia-energetica/>>. Acesso em: 19 out. 2018.

LA FARGE, B. **Le Biogaz – Procèdes de Fermentation Méthanique**. Paris: Masson, 1979.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. J. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: INPE, 2017. Disponível em: <<http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34P/3PERDJE>>.

RANGEL, M. S., BORGES, P. B., & DOS SANTOS, I. F. S. (2016). **Análise comparativa de custos e tarifas de energias renováveis no Brasil**. Revista Brasileira de Energias Renováveis, 5(3), 267–277. http://energias.eng.br/gallery/2016_rangel_custos%20de%20renov%C3%A1veis.pdf

SERGIO NOBRE, 2013. **Energia – Hidrelétricas Reservatório e a Fio D'Água**. Disponível em: < <https://sergionobre.wordpress.com/2013/01/15/energia-hidreletricas-reservatorio-e-a-fio-dagua/>>. Acesso em: 13 out. 2018.

SILVA, E. P. **Fontes Renováveis de Energia: Geração de Energia para um Desenvolvimento Sustentável**. São Paulo: Campinas, 1996.

SILVA, F. C. M. **Tratamento de Dejetos de Suínos Utilizando Lagoas de Alta Taxa de Degradação em Batelada**. 1996. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1996.

SILVA, M. C.; BUENO, O. C. **Análise energética na agricultura: ferramenta importante para uma produção agrícola mais sustentável**. v. 07, n. 07, 2011. Disponível em: <https://seer.ufmg.br/index.php/ccaufmg/article/viewFile/1143/918>. Acesso em: 23 out. 2018.

VERGÍLIO, Karen Evelline Perusso. **Geração distribuída e pequenas centrais hidrelétricas: alternativas para a geração de energia elétrica no Brasil**. Orientador: Frederico Fábio Mauad. Monografia, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

WEG, 2020 - **Energia - Turbinas Hidráulicas**. Disponível em:<<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/he5/h76/WEG-turbinas-hidraulicas-50083024-catalogo-portugues.pdf>>. Acesso em: 16 set.2020.

ZILLES, R.; MACÊDO, W. N.; GALHARDO, M. A. B.; DE OLIVEIRA, S. H. F. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

ANEXO 1

Banco de dados de incidência solar média anual

Figura 22 - Trecho da tabela que fornece a média de anual de irradiação direta normal por município

ESN	EAT	NOME	STATE	AINNORE
-670.531	-100.755	Acrelândia	AC	3165
-695.658	-109.394	Assis Brasil	AC	3453
-687.463	-110.109	Brasileia	AC	3438
-679.523	-9.834	Bujari	AC	3287
-676.768	-105.749	Capixaba	AC	3269
-726.761	-7.628	Cruzeiro do Sul	AC	3389
-687.442	-110.293	Epitaciolândia	AC	3438
-703.537	-81.635	Feijó	AC	3187
-719.482	-91.969	Jordão	AC	3385
-729.002	-7.617	Mâncio Lima	AC	3482
-692.684	-88.333	Manoel Urbano	AC	3220
-728.002	-89.394	Marechal Thaumaturgo	AC	3543
-67.186	-103.257	Plácido de Castro	AC	3223
-675.408	-95.942	Porto Acre	AC	3229
-727.542	-82.636	Porto Walter	AC	3583
-678.253	-99.758	Rio Branco	AC	3259
-726.505	-77.342	Rodrigues Alves	AC	3434
-704.907	-94.469	Santa Rosa do Purus	AC	3338
-686.718	-90.639	Sena Madureira	AC	3190
-677.367	-101.501	Senador Guiomard	AC	3252
-707.726	-81.574	Tarauacá	AC	3292
-684.973	-10.652	Xapuri	AC	3413
-379.383	-92.624	Água Branca	AL	4864
-363.081	-96.853	Anadia	AL	4518
-366.618	-97.553	Arapiraca	AL	4614
-360.088	-95.123	Atalaia	AL	4498
-355.104	-94.027	Barra de Santo Antônio	AL	4892
-35.906	-98.389	Barra de São Miguel	AL	4829
-371.279	-96.735	Batalha	AL	4664
-364.907	-95.709	Belém	AL	4495
-372.773	-98.232	Belo Monte	AL	4805
-362.128	-96.435	Boca da Mata	AL	4341
-360.164	-92.339	Branquinha	AL	4362
-369.914	-94.016	Cacimbinhas	AL	4806
-361.562	-93.998	Cajueiro	AL	4225
-355.688	-88.477	Campestre	AL	4314
-363.528	-97.849	Campo Alegre	AL	4544
-367.929	-99.559	Campo Grande	AL	4596
-376.028	-91.164	Canapi	AL	5061
-360.829	-94.155	Capela	AL	4360

ESN	EAT	NOME	STATE	AINNORE
-398.583	-187.219	São Mateus	ES	4629
-406.529	-197.416	São Roque do Canaã	ES	4216
-403.078	-201.215	Serra	ES	4601
-400.977	-191.902	Sooretama	ES	4262
-410.074	-206.714	Vargem Alta	ES	4446
-411.359	-203.275	Venda Nova do Imigrante	ES	3967
-404.936	-20.383	Viana	ES	4570
-406.093	-186.096	Vila Pavão	ES	4075
-403.853	-189.962	Vila Valério	ES	4117
-402.878	-203.422	Vila Velha	ES	4853
-403.135	-203.164	Vitória	ES	4739
-494.384	-167.621	Abadia de Goiás	GO	4969
-487.061	-161.974	Abadiânia	GO	4971
-503.753	-173.964	Acreúna	GO	5045
-501.683	-164.165	Adelândia	GO	5019
-477.827	-149.814	Água Fria de Goiás	GO	5146
-487.643	-180.797	Água Limpa	GO	5113
-482.597	-157.414	Águas Lindas de Goiás	GO	4906
-48.508	-160.839	Alexânia	GO	4928
-494.813	-177.289	Aloândia	GO	5111
-493.368	-141.985	Alto Horizonte	GO	5058
-475.177	-14.14	Alto Paraíso de Goiás	GO	4964
-464.943	-144.844	Alvorada do Norte	GO	5588
-492.983	-139.279	Amaralina	GO	4966
-499.799	-16.253	Americano do Brasil	GO	4907
-510.948	-16.62	Amorinópolis	GO	4991
-489.534	-163.285	Anápolis	GO	4857
-48.219	-18.337	Anhanguera	GO	5224
-499.589	-16.459	Anicuns	GO	5020
-492.473	-168.203	Aparecida de Goiânia	GO	4962
-51.152	-182.945	Aparecida do Rio Doce	GO	4953
-519.259	-18.965	Aporé	GO	4995
-496.808	-163.568	Araçu	GO	4999
-52.245	-159.033	Aragarças	GO	4962
-49.448	-169.091	Aragoiânia	GO	4947
-506.319	-150.913	Araguapaz	GO	4960
-515.597	-163.861	Arenópolis	GO	4997
-510.808	-149.263	Aruanã	GO	5006
-504.645	-166.777	Aurilândia	GO	5157
-497.583	-164.677	Avelinópolis	GO	5019

Fonte: CRESEB

ANEXO 2

Banco de dados de tarifas cobradas pelas concessionárias de energia

Tabela 9 - Trecho da tabela de tarifas das concessionárias de energia

Distribuidora	UF	Tarifa Convencional	Início de vigência
AmE	AM	0,665	01/11/19
CASTRO - DIS	PR	0,351	30/07/19
CEA	AP	0,537	30/11/19
Ceal	AL	0,535	03/05/19
CEB-DIS	DF	0,518	22/10/19
Cedrap	SP	0,585	31/08/19
Cedri	SP	0,751	30/09/19
CEEE-D	RS	0,515	22/11/19
CEGERO	SC	0,375	30/09/19
Cejama	SC	0,616	30/09/19
Celesc-DIS	SC	0,470	22/08/19
Celg-D	GO	0,534	22/10/19
Celpa	PA	0,684	07/08/19
Celpe	PE	0,549	29/04/19
Cemar	MA	0,630	28/08/19
Cemig-D	MG	0,628	28/05/19
Cemirim	SP	0,471	29/05/19
Cepisa	PI	0,569	30/11/19
Ceprag	SC	0,683	22/12/19
Ceraça	SC	0,497	30/09/19
Ceral Anitápolis	SC	0,664	30/10/19
CERAL ARARUAMA	RJ	0,950	29/04/19
Ceral DIS	PR	0,470	30/07/19
Cerbranorte	SC	0,544	30/09/19
CERCI	RJ	0,895	29/04/19
Cercos	SE	0,783	29/04/19
Cerej	SC	0,580	30/09/19
Ceres	RJ	0,885	29/04/19
CERFOX	RS	0,562	30/07/19
Cergal	SC	0,655	30/09/19
Cergapa	SC	0,524	30/09/19
Cergal	SC	0,559	30/09/19
Ceriluz	RS	0,514	30/07/19
Cerim	SP	0,687	30/10/19
Ceripa	SP	0,521	29/04/19
Ceris	SP	0,532	11/07/19
CERMC	SP	0,628	30/11/19
Cermissões	RS	0,667	30/07/19
Cermoful	SC	0,563	30/09/19
Cernhe	SP	0,551	17/05/19

FONTE: ANEEL, 2019

APÊNDICE 1

Programa desenvolvido em Excel

Figura 23 - Tela inicial do programa



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	<p>VEJA QUAL TIPO DE GERAÇÃO RENOVÁVEL É MAIS ADEQUADA PARA SUA PROPRIEDADE</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"><div style="text-align: center;"><p>1- Primeiro escolha o seu ESTADO e CIDADE abaixo</p><p>ESTADO <input type="text" value="RO"/> CIDADE <input style="border: 1px solid gray;" type="text" value="Alto Paraíso"/></p><p><input type="button" value="2 - Inserir Informações"/></p></div><div style="text-align: center;"><p>Veja os custos e tempo de Payback de cada geração</p><p><input type="button" value="3 - Ver Resultados"/></p></div></div>									
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										

Figura 24 - Tela de entrada de dados

Programa TCC X

DADOS DA PROPRIEDADE

CONCESSIONARIA

CONSUMO EM kWh/mês OU CUSTO MENSAL EM R.\$

POSSUI CURSO D'AGUA

ALTURA QUEDA D'AGUA EM METROS VAZÃO ANUAL MÉDIA m³/s

VELOCIDADE DO VENTO EM m/s
(CONSULTAR NO MAPA)

POSSUI ANIMAIS DE PRODUÇÃO

TIPO	QUANTIDADE
AVES	<input style="border: 1px solid gray;" type="text"/>
BOVINOS	<input style="border: 1px solid gray;" type="text"/>
EQUINOS	<input style="border: 1px solid gray;" type="text"/>
OVINOS	<input style="border: 1px solid gray;" type="text"/>
SUINOS	<input style="border: 1px solid gray;" type="text"/>

Figura 25 - Tela de resultados mostrando *Payback*, Custo e Potência instalada

