

Viabilidade econômica de microgeradores eólicos para residências unifamiliares

Economic feasibility of wind microgenerators for single-family residences

DOI: 10.34140/bjbv3n4-006

Recebimento dos originais: 18/06/2021

Aceitação para publicação: 31/07/2021

Uriel Wizniewsky de Oliveira

Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Maria

Instituição: Universidade Federal de Santa Maria

Endereço: Av. Roraima, nº 1000 - Cidade Universitária Camobi, Santa Maria - RS, Brasil

E-mail: uurie@gmail.com

Matheus Binotto Francescato

Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Maria

Instituição: Universidade Federal de Santa Maria

Endereço: Av. Roraima, nº 1000 - Cidade Universitária Camobi, Santa Maria - RS, Brasil

E-mail: matheusfrancescato@hotmail.com

Cristiano Roos

Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina

Instituição: Universidade Federal de Santa Maria

Endereço: Av. Roraima, nº 1000 - Cidade Universitária Camobi, Santa Maria - RS, Brasil

E-mail: cristiano.roos@ufsm.br

RESUMO

No Brasil, a utilização da energia eólica vem crescendo e sua participação aumentando na diversificação da matriz energética. Ela se mostra uma das principais fontes de energia limpa e sustentável. Porém, a maioria dos projetos e produtos no mercado têm ênfase em geração eólica com potência elevada, o que requer muito investimento. Tendo isso em vista, o objetivo deste trabalho é realizar uma análise técnica e econômica da utilização de microgeradores eólicos *grid tie* comerciais para atender a demanda energética de uma residência unifamiliar na cidade de Santa Vitória do Palmar, no Rio Grande do Sul, utilizando dados atuais e reais de taxas e encargos. Na elaboração deste trabalho foram simulados 16 cenários com diferentes tipos de aerogeradores de acordo com o sistema de bandeiras tarifárias vigente da ANEEL. Para a análise econômica, foram utilizados os métodos de Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno, *Payback* Simples e *Payback* Descontado, juntamente com a metodologia LCOE para comparar a relação custo-eficácia dos geradores. Para a análise técnica foi levado em consideração as velocidades mínima, nominal e máxima de cada aerogerador, bem como a potência e a energia elétrica gerada a partir da curva de potência, a demanda energética da residência, a distribuição de probabilidade de Weibull, a velocidade e a direção dos ventos na cidade. Em conclusão, este trabalho alcançou seus objetivos mostrando seis cenários viáveis técnica e economicamente, sendo quatro cenários ideais, com uma residência de maior consumo, e dois cenários reais.

Palavras-chave: Engenharia econômica, Sistema eólico, Aerogerador.

ABSTRACT

In Brazil, the use of wind energy has been growing and its participation is increasing in the diversification of the energy matrix. It proves to be one of the main sources of clean and sustainable energy. However, most projects and products on the market have an emphasis on high power wind generation, which

requires a lot of investment. With this in mind, the objective of this work is to carry out a technical and economic analysis of the use of commercial grid tie wind microgenerators to meet the energy demand of a single-family residence in the city of Santa Vitória do Palmar, in Rio Grande do Sul, using current data and reals of fees and charges. In preparing this work, 16 scenarios were simulated with different types of wind turbines according to ANEEL's current tariff flag system. For the economic analysis, the Net Present Value, Internal Rate of Return, Simple Payback and Discounted Payback methods were used, together with the LCOE methodology to compare the cost-effectiveness of the generators. For the technical analysis, the minimum, nominal and maximum speeds of each wind turbine were taken into account, as well as the power and electrical energy generated from the power curve, the energy demand of the residence, the Weibull probability distribution, the speed and the direction of the winds in the city. In conclusion, this work achieved its objectives by showing six technically and economically viable scenarios, four ideal scenarios, with a higher consumption residence, and two real scenarios.

Keywords: Economic engineering, Wind system, Wind turbine.

1 INTRODUÇÃO

Juntamente com os avanços tecnológicos têm-se as preocupações com o meio ambiente e as mudanças climáticas. O aumento da produção dos gases do efeito estufa provenientes de combustíveis fósseis são de conhecimento geral e devem ser minimizados. Com isso, novas formas de produzir energia elétrica mais limpa são cada vez mais pesquisadas e estudadas. Esses fatores fazem com que os preços destas novas tecnologias fiquem mais acessíveis para competir com as formas de geração não renováveis, que atualmente são as mais econômicas.

De acordo com a Wind Solar Alliance (2018), a energia eólica atualmente é a segunda fonte de eletricidade no mundo que mais cresce, com 539 GW de capacidade global instalada no final de 2017. De acordo com Nascimento (2018), a energia eólica é a terceira maior fonte de energia na matriz elétrica brasileira, contribuindo com 8,3% da energia produzida no país. Este fato se deve também ao fato do desenvolvimento deste ramo no país, que tem uma indústria 80% nacional, uma ótima qualidade dos ventos, em especial no Nordeste e no Rio Grande do Sul (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA, 2018b).

Neste contexto, com a demanda cada vez mais latente por energia elétrica gerada por fontes renováveis, este trabalho tem como tema um estudo de viabilidade técnica e econômica sobre a utilização de microgeradores eólicos em residências unifamiliares. Neste contexto, o problema de pesquisa foi definido assim: qual é o modelo comercial de microgerador eólico mais adequado economicamente para uma residência unifamiliar na cidade de Santa Vitória do Palmar no Rio Grande do Sul?

O avanço da tecnologia em relação às energias renováveis, tendo em vista as preocupações com o meio ambiente, o aquecimento global e a finitude dos recursos naturais, faz com que a procura por formas mais sustentáveis e renováveis de produção de energia se torne imprescindível. Devido ao fato de a energia eólica ser um assunto ainda não consolidado, porém de grande repercussão, é necessário desenvolver

pesquisas e estudos para melhorar o entendimento quanto a ela. Portanto, este trabalho contribuirá com conhecimento teórico.

Por fim, o objetivo geral deste trabalho é realizar uma análise técnica e econômica sobre a viabilidade de instalação de microgeradores eólicos em residências unifamiliares na cidade de Santa Vitória do Palmar, utilizando métodos de análise econômica para se chegar a uma conclusão sobre a viabilidade econômica do projeto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ENERGIA EÓLICA

De acordo com Safari (2011), energia eólica é um tipo de energia derivada da energia solar. O vento é a energia mecânica transportada através do fluxo de gases que se locomovem devido às diferenças de densidade do ar, de temperatura e de pressão. Essas diferenças ocorrem porque a radiação eletromagnética do sol aquece a superfície terrestre de maneira desigual, ou seja, cada material que recebe calor do sol tem sua própria capacidade térmica.

Segundo Zanon, Gennaro e Kühnelt (2018), os pontos mais favoráveis para a produção de energia elétrica a partir da eólica estão localizados em regiões frias e úmidas, como lugares com altitude elevada e próximos aos oceanos, respectivamente. Da mesma forma, a Associação Brasileira de Energia Eólica (2018c) afirma que para a energia eólica ser tecnicamente aproveitável, a sua densidade tem de ser maior ou igual a 500 W/m^2 , o que requer ventos com velocidade média de no mínimo 7 a 8 m/s a uma altura de 50m.

2.2 ENGENHARIA ECONÔMICA

Para Blank e Tarquin (2012), Engenharia Econômica é a formulação, estimativa e avaliação dos resultados econômicos, com as alternativas disponíveis para cada situação. Ela também engloba diferentes técnicas matemáticas que possibilitam uma melhor comparação econômica. De acordo com Custódio (2013), o projeto de instalação de turbinas eólicas em nível residencial ou de parques eólicos requer um profundo conhecimento de alguns parâmetros que definirão sua viabilidade econômica e suas características técnicas e operacionais.

Ainda segundo Ehrlich e Moraes (2013), levando em consideração que a vida útil das turbinas eólicas é de 20 a 30 anos, o projeto deverá nesse tempo produzir energia suficiente para cobrir o financiamento da sua implantação, os custos operacionais e, o mais importante, gerar um retorno econômico para o investidor. Os mesmos autores avaliam que o dimensionamento adequado das turbinas e do projeto é de suma importância para o sucesso operacional e comercial do empreendimento.

2.2.1 Taxa mínima de atratividade e taxa interna de retorno

Conforme Casarotto Filho e Kopittke (2010), para analisar uma proposta de investimento deve ser considerado o fato de se estar perdendo a oportunidade de obter retornos pela aplicação do mesmo capital em outros projetos. Segundo os mesmos autores, a proposta, para ser atrativa, deve render, no mínimo, a taxa de juros equivalente à rentabilidade das aplicações correntes e de pouco risco, sendo que esta taxa de juros se denomina Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Desta forma, a taxa de juros que o dinheiro investido proporcionará deve ser maior do que a TMA (HIRSCHFELD, 1998). Em adição, segundo Camargos (2014), a Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa de juros que faz com que as receitas e as despesas do fluxo de caixa se equivalham, ou seja, define-se TIR como a taxa de juros que reduz o valor presente de uma série de receitas e despesas a zero.

2.2.2 Valor presente líquido

O Valor Presente Líquido (VPL) é, segundo Thuesen e Fabrycky (2001), um montante correspondente no presente que representa a diferença entre os desembolsos e os recebimentos equivalentes do fluxo de caixa de um investimento para uma taxa de juros selecionada. Para Hirschfeld (1998), na análise de fluxos de caixas, há muitos valores envolvidos, como despesas e receitas e, a somatória algébrica desses valores em todos os períodos considerados, reduzidos ao instante considerado inicial com uma taxa de juros comparativa é o VPL.

2.2.3 Payback simples e Payback descontado

De acordo com Thuesen e Fabrycky (2001), o Payback Simples (PBS) é definido como o tempo necessário para recuperar o investimento inicial do fluxo de caixa líquido feito pelo investimento com uma taxa nula de juros. Já para Prates (2016), é um método simples e rápido que mede o risco do investimento, pois quanto menor o período de Payback, mais líquido é o investimento e menos arriscado. Porém, ele não considera o valor do dinheiro neste período, nem os fluxos de caixa após o período de Payback e não leva em conta o custo de capital da empresa.

Por outro lado, o Payback Descontado (PBD) é bastante similar ao PBS, porém antes da soma dos fluxos de caixa é utilizada uma taxa de desconto, geralmente a TMA, trazendo o valor para o presente (PRATES, 2016). Ainda de acordo com Prates (2016), o método é simples e prático e resolve o problema do PBS, considerando o valor do dinheiro no tempo, mas continua sem levar em conta os fluxos de caixa após o período de Payback.

2.2.4 The levelized cost of energy

Segundo Bruck, Sandborn e Goudarzi (2018), COE é o custo real para comprar energia, enquanto o Levelized Cost of Energy (LCOE) é uma avaliação econômica do custo total médio para construir e

operar um sistema de geração de energia ao longo de sua vida útil, dividida pela potência total gerada do sistema ao longo da vida útil. Para Branker, Pathak e Pearce (2011), a metodologia LCOE é utilizada como uma ferramenta para equiparar as diversas fontes de geração de energia e poder comparar entre elas a relação custo-eficácia.

O LCOE é amplamente usado para identificar os custos unitários de energia descontados e normalizados para fornecer uma base consistente para comparação durante certo período, já que cada tecnologia de energia tem seu próprio período operacional (LEE, 2015). Para Miller et al. (2017), muitos autores relataram o LCOE para a energia eólica, porém existe grande divergência não apenas nos valores, mas também nas variáveis que o LCOE inclui ou não.

2.3 APLICAÇÕES ENVOLVENDO VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMAS EÓLICOS

Harsh, Hamilton e Wittenberg (2010) sugeriram hipóteses para avaliar a viabilidade de inserção de turbinas de pequeno porte em um ambiente rural através de um módulo de investimento feito no Microsoft Excel, o qual emprega métodos de orçamento de capital para avaliar o investimento em turbinas eólicas.

Chang e Starcher (2018) relataram que para o sistema fotovoltaico, a quantidade de incentivos do governo faz o Payback variar entre 2 - 20 anos, mas para os sistemas eólicos o fator mais importante são os recursos eólicos da região. Macedo, Albuquerque e Moralles (2017) ressaltaram também que em sistemas eólicos é preciso levar em consideração a localização, área e forma de disposição de tais sistemas e que isso justifica fortemente o uso de técnicas de engenharia econômica para verificar a viabilidade da instalação. Netto (2017) utilizou métodos de engenharia econômica para analisar a viabilidade econômica do projeto com o retorno financeiro estipulado para 30% da vida útil do projeto.

Lima e Filho (2010) realizaram um estudo de viabilidade envolvendo aspectos econômicos, técnicos e ambientais somente após obter os valores da energia anual produzida da fazenda eólica. Ahmed (2018) realizou análises técnicas para escolher qual aerogerador melhor se encaixava no seu projeto para então confirmar através de cálculos que o preço da geração de energia motiva a construir mais parques eólicos naquela região.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Residência unifamiliar é uma moradia para uma só família em um único lote e é um modelo utilizado na sua maioria em cidades menores e mais distantes de grandes centros onde a predominância nestes locais é de edifícios. Para este estudo, será levado em consideração uma moradia simples e básica, pois o consumo de energia considerado é a média do sul do Brasil. A cidade de Santa Vitória do Palmar foi escolhida como cenário para ser realizado este trabalho em virtude de seus ventos com velocidade superior a outras cidades pesquisadas.

A geografia da cidade e o potencial dos ventos que nela incidem são totalmente favoráveis para a geração de energia renovável. As velocidades dos ventos da cidade foram coletados neste trabalho no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e do software RETScreen, que forneceram os valores de 4,997 m/s e 4,7 m/s respectivamente.

A organização deste trabalho aconteceu pela definição das etapas de pesquisa de forma ordenada. Foram cinco etapas principais, contendo os assuntos e métodos utilizados para a elaboração da pesquisa. Primeiramente foi definido o tema, as justificativas e os objetivos para a introdução desta pesquisa. Na segunda etapa houve um embasamento teórico. Na terceira etapa foram expostos os procedimentos metodológicos para a escolha do cenário ideal e dos métodos de pesquisa. Para a quarta etapa foram coletados dados para o estudo da viabilidade técnica e viabilidade econômica. Ainda, foram criados 16 cenários e, com o auxílio do Excel, foram realizados os cálculos de PBS, PBD, TIR, VPL e do LCOE. Todos os resultados foram então discutidos e a última etapa abordou a conclusão proposta a partir destes resultados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 COLETA DE DADOS

Com o intuito de encontrar um gerador eólico adequado para o consumo energético de uma residência unifamiliar, foi realizada uma análise do consumo residencial em MWh da região sul do Brasil desde 2004. Estes dados estão disponíveis no site da Empresa de Pesquisa Energética (2018). A média anual de energia elétrica consumida em residências no período analisado foi de 17.755.589,99 MWh com uma taxa de aumento no consumo total de 67,87%. Porém, neste mesmo período o número de clientes não permaneceu o mesmo, oscilando o real consumo por residência. Devido a isso se pesquisou os dados históricos de 2004 a 2018 do número de consumidores residenciais na região sul.

Diferentemente da taxa de aumento do consumo total, o número de consumidores residenciais cresceu de forma mais lenta, a uma taxa de 46,25% no período. Portanto, para um valor real de consumo médio mensal residencial, fez-se uma relação entre o consumo de cada período com o número de consumidores residenciais.

Assim, o consumo médio anual das residências unifamiliares no sul do país de 2004 até 2018 é de 2,07455494 MWh e o consumo médio mensal por residência de aproximadamente 172,88 kWh. Na cidade de Santa Vitória do Palmar, a empresa distribuidora que presta serviços é a CEEE – Companhia Estadual de Energia Elétrica. Através de pesquisa eletrônica no site da Agência Nacional Energia Elétrica (2019), foi possível elaborar a Tabela 1 com os dados das tarifas da energia elétrica da Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE) para a classe residencial no período de 2004 até 2018, onde não estão inclusos valores adicionais de bandeiras, ICMS, PIS e COFINS.

Tabela 1 – Histórico das tarifas da energia elétrica na região atendida pela CEEE.

Ano	Tarifa Média de Fornecimento sem imposto (R\$/kWh)	Ano	Tarifa Média de Fornecimento sem imposto (R\$/kWh)
2004	0,28108	2012	0,33314
2005	0,28821	2013	0,28167
2006	0,29215	2014	0,3071
2007	0,27002	2015	0,47651
2008	0,28682	2016	0,4826
2009	0,29189	2017	0,40305
2010	0,29269	2018	0,51623
2011	0,30889	-	-

Fonte: Autores (2020)

Tabela 2 – Tarifa de energia elétrica na área de atuação da CEEE.

Bandeira	Tarifa KWh (em reais)
Verde	0,51623
Amarela	0,53123
Vermelha Patamar 1	0,55623
Vermelha Patamar 2	0,57623

Fonte: Autores (2020)

De acordo com a Agência Nacional Energia Elétrica (2018), no ano de 2015 foi adicionado o Sistema de Bandeiras Tarifárias nos custos variáveis da energia do mercado regulado com o intuito de mostrar aos consumidores os custos reais de geração da energia elétrica, mostradas na Tabela 2. Em adição, a classe residencial com faixa de consumo entre 101 a 220 kWh se encaixa na alíquota de ICMS de 30%, que será acrescida na tarifa de cada bandeira (CEEE, 2019).

A coleta de dados sobre os ventos em Santa Vitória do Palmar aconteceu através do site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), órgão do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Assim, a velocidade média anual dos dados fornecidos pelo INMET foi de 4,997 m/s.

Os dados coletados para este trabalho são do período de 18 de novembro de 2017 até 17 de novembro de 2018, totalizando 8759 dados acerca da hora, velocidade, direção e rajadas dos ventos na cidade de Santa Vitória do Palmar. Também foi utilizado o software RETScreen para conferir os dados obtidos no site do INMET.

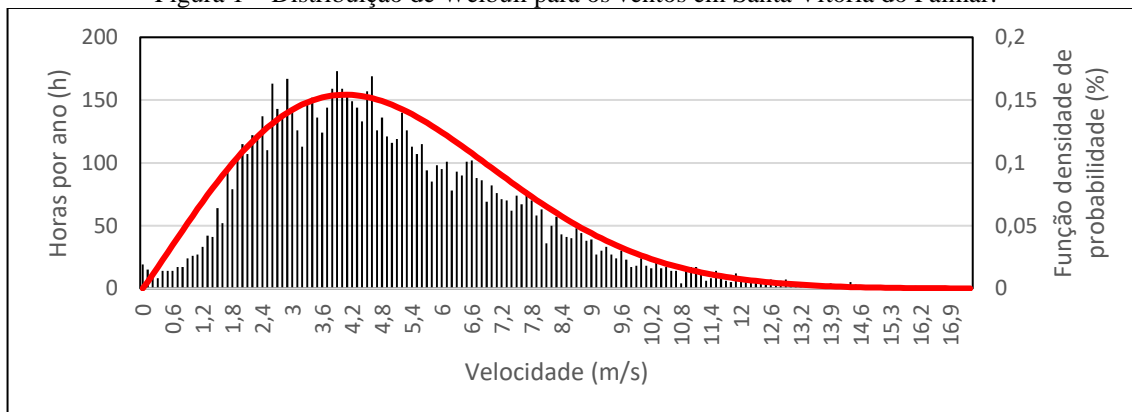
De acordo com o Guia de Microgeradores Eólicos (INSTITUTO IDEAL, 2014) e com o que foi pesquisado em artigos previamente mencionados neste trabalho, alguns dos principais fatores para a instalação do microgerador eólico são a intensidade e a regularidade dos ventos quanto a continuidade da direção. Para isso, com o auxílio do software Lake Environment, determina-se que os ventos provêm majoritariamente das regiões sul, sudeste, leste e nordeste, contabilizando 15,18%, 13,67%, 14,33% e 18,71% respectivamente.

Outro parâmetro importante a ser levado em conta é a distribuição de probabilidades dos ventos que, devido ao seu caráter estocástico, sua velocidade varia bastante. Na medição dos ventos durante o ano, é possível notar que ventos muito fortes são raros, enquanto ventos moderados são mais comuns. A

Distribuição de Weibull, que já foi mencionada anteriormente em outros estudos, é a mais utilizada.

Tendo estes dados, pôde-se plotar o gráfico mostrado na Figura 1 da Distribuição de Weibull para a cidade de Santa Vitória do Palmar com os dados fornecidos pelo INMET sobre a quantidade de horas em que cada vento soprou na cidade. Pode-se perceber que a chance maior é de ocorrer ventos entre 1,8 m/s e 7 m/s.

Figura 1 – Distribuição de Weibull para os ventos em Santa Vitória do Palmar.



Fonte: Autores (2020).

Conforme visto anteriormente, para que o projeto seja atrativo ele deve possuir um rendimento pelo menos idêntico a taxa de juros equivalente à rentabilidade das aplicações correntes e de pouco risco. No caso deste estudo foi escolhido o histórico da poupança nos últimos cinco anos sob a variação 51 para utilizar como a Taxa Mínima de Atratividade (TMA).

O tempo analisado para estabelecer a TMA no cálculo da viabilidade do projeto é sucinto em consequência da mudança realizada em 4 de maio de 2012 da regra de correção do rendimento para a variação 51 da poupança, conforme a Lei N° 12.703 (BRASIL, 2012). Com a ajuda da Calculadora do Cidadão (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2019), entre o dia 23/01/2013 até o dia 23/01/2019 o rendimento total da poupança foi de 47,89%. Assim, com a taxa de juros equivalente, o rendimento médio mensal calculado é de 0,54495%.

O período da inflação utilizado foi entre 2009 até 2018. Para o cálculo da inflação neste intervalo foi empregue a ferramenta Calculadora do Cidadão (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2019), de acordo com o modelo de correção para o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPC-A) do IBGE. A inflação total ficou aproximadamente 76,31% no período em questão e, pelo cálculo da taxa de juros equivalente, foi encontrado o valor de 5,44671% para a média anual.

4.2. Análise dos resultados

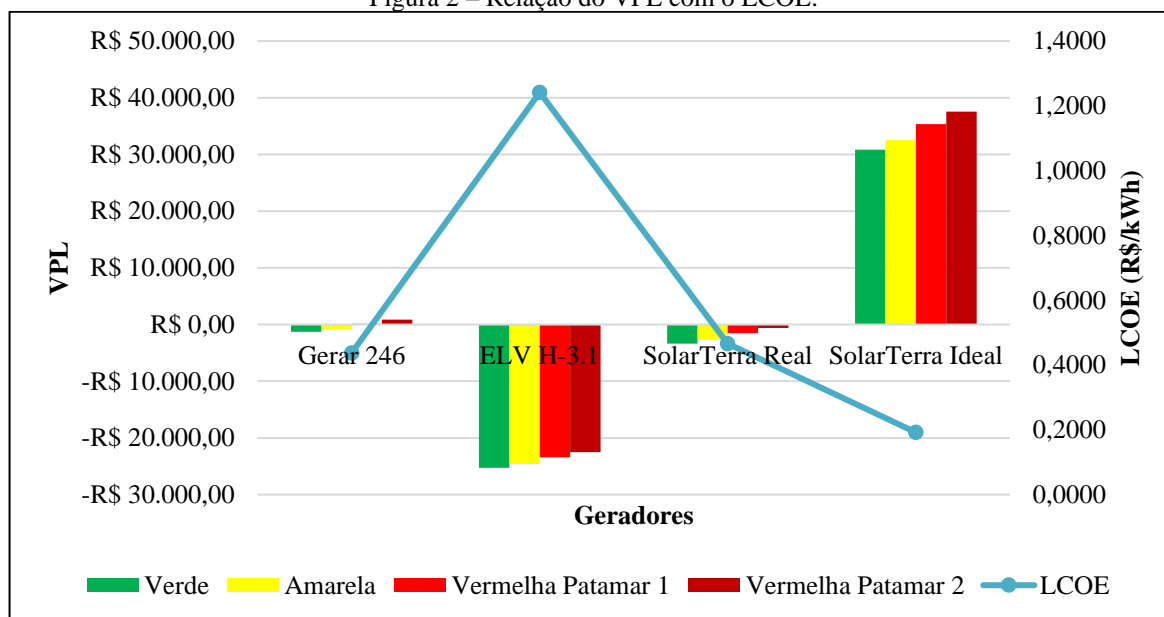
Para realizar a análise dos resultados, cada cenário conta com um gerador eólico e uma diferente bandeira tarifária, totalizando assim 16 cenários, conforme mostra o Quadro 1. Os geradores foram escolhidos baseados nos parâmetros obtidos com os dados relativos ao cenário de estudo.

Quadro 1 – Cenários de cálculo

	Gerar 246	ELV H-3.1	SolarTerra Real	SolarTerra Ideal
Tarifa Verde	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Tarifa Amarela	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 7	Cenário 8
Tarifa Vermelha 1	Cenário 9	Cenário 10	Cenário 11	Cenário 12
Tarifa Vermelha 2	Cenário 13	Cenário 14	Cenário 15	Cenário 16

Assim, a Figura 2 mostra a relação entre os resultados obtidos para o VPL de cada cenário com o LCOE respectivo. Nota-se que o VPL aumenta paralelamente com o aumento do custo da bandeira tarifária já que a receita produzida pelo aerogerador também é acrescida.

Figura 2 – Relação do VPL com o LCOE.



Fonte: Autores (2020).

Tendo em vista os resultados obtidos, pela análise do VPL, pode-se perceber que mais da metade dos cenários (cenários 1, 2, 3, 5, 6, 7, 10, 11, 14 e 15) é economicamente inviável, pois tem valores negativos. Os cenários do modelo ELV H-3.1 (cenários 2, 6, 10 e 14) obtiveram valores negativos de TIR e VPL e não tiveram um horizonte de retorno para o PBS ou PBD. Os cenários 1 e 5 envolvem o Gerar 246 na Tarifa Verde e Amarela, que compensam a energia gerada com as menores taxas, resultando no VPL negativo de R\$ 1.284,65 e R\$ 753,48 e TIR de 0,46% a.m. e 0,49% a.m. Já os cenários 3, 7, 11 e 15 representam o aerogerador SolarTerra Real em todas as tarifas, com VPL negativos de R\$ 3.368,76, R\$ 2.671,27, R\$ 1.508,79 e R\$ 578,80, e TIR de 0,38% a.m., 0,41% a.m., 0,47% a.m. e 0,52% a.m., respectivamente. Isto se dá em razão deste modelo gerar muita energia e a residência não consumir tanto, além do fato de ter um preço mais elevado em comparação ao Gerar 246.

Já os cenários restantes (cenários 4, 8, 9, 12, 13 e 16), pelo método do VPL, resultaram em valores positivos, como é o caso do SolarTerra Ideal em que todos os cenários idealizados (cenários 4, 8, 12 e 16) são viáveis economicamente. Este teve na Tarifa Verde um VPL de R\$ 30.823,21, TIR de 1,63% ao mês

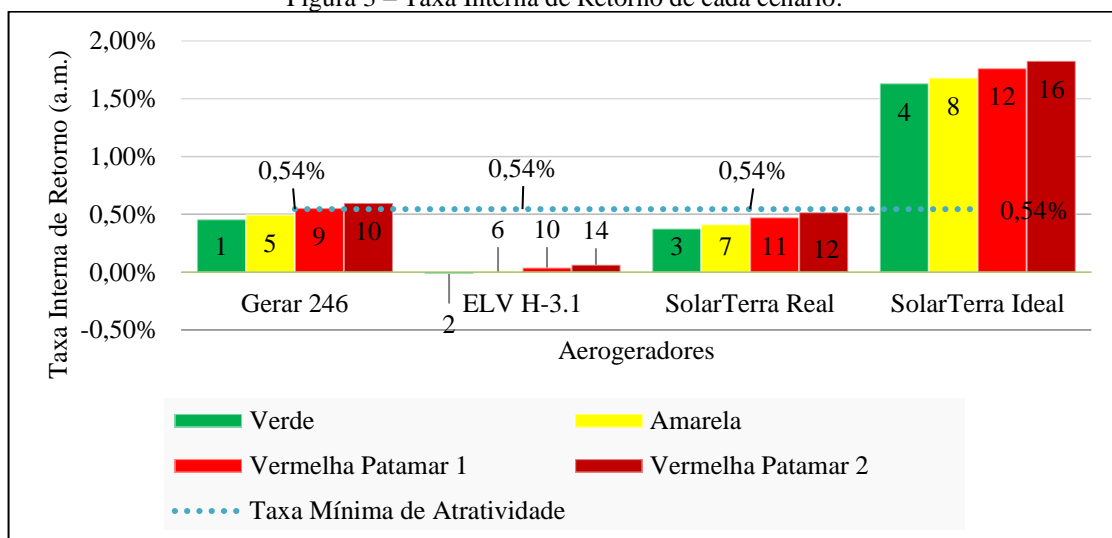
e o retorno pelo PBS de 5 anos e 8 meses e pelo PBD de 7 anos e 1 mês. Na Tarifa Vermelha 2 os valores, de VPL, TIR, PBS e PBD foram de R\$ 37,587,22, 1,83% a.m., 5 anos e 2 meses e 6 anos e 2 meses, respectivamente. O gerar 246 se mostrou viável economicamente para a Tarifa Vermelha 1 e Vermelha 2.

O alto preço do aerogerador ELV H-3.1 juntamente com a baixa demanda energética da casa resultam em um LCOE altíssimo e um VPL que mostra o prejuízo, tornando todos os cenários inviáveis economicamente. Nota-se que em dois dos quatro cenários criados para a turbina eólica Gerar 246 o retorno foi positivo, mas baixo, e o preço do LCOE ainda é elevado. Já para o modelo SolarTerra Real, o investimento mostra-se inviável, com retorno negativo nos quatro cenários e um preço de LCOE também elevado.

Caso se repetissem esses ventos em todos os anos, e a unidade consumidora em questão fosse uma casa que consumisse aproximadamente 400 kWh por mês, o SolarTerra Ideal aparece como um investimento muito viável e com retorno rápido. Este fato também é constatado quando os valores da TIR são analisados.

A Figura 3 mostra os cenários mais favoráveis de acordo com a TIR. Pode-se perceber que a potência nominal dos aerogeradores não teve muita influência nos cenários reais já que tanto o Gerar 246 de 1 kW quanto o SolarTerra Real de 5 kW ostentaram resultados semelhantes. Este fato acontece majoritariamente pelo consumo mediano da residência, pois com o SolarTerra Ideal, a TIR é bem mais elevada, mostrando uma viabilidade econômica bem maior.

Figura 3 – Taxa Interna de Retorno de cada cenário.



Fonte: Autores (2020).

É possível perceber, também, que os gráficos seguem um padrão, aumentando de acordo com o acréscimo das bandeiras. Como já visto anteriormente na Resolução Normativa Número 687 (ANEEL, 2015), toda energia gerada em excesso ao consumo residencial não pode ser vendida a concessionária de energia elétrica, e este excesso retorna ao consumidor em forma de créditos com validade de até 60 meses,

podendo ser utilizada também em outras residências do mesmo consumidor caso estiver sob a rede da mesma concessionária. Entretanto, estes créditos sofrem depreciação de custo, já que não é incidido o ICMS de 30% quando deslocado para a concessionária.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho, tendo em vista a preocupação energética e ambiental e a procura mundial por soluções renováveis e sustentáveis de geração de energia, tem como escopo a análise técnica e econômica da utilização de micro aerogeradores comerciais para a geração de energia elétrica em residências unifamiliares na cidade de Santa Vitória do Palmar, no Rio Grande do Sul. Para a análise econômica foram elencados os métodos mais utilizados para tal, que foram o VPL, a TIR, o PBS e o PBD. A métrica do custo de geração de energia elétrica LCOE também foi utilizada.

Concluiu-se que todos os resultados do ELV H-3.1 são inviáveis economicamente. O mesmo caso acontece para o SolarTerra Real, devido a demanda energética da residência que inviabiliza o retorno econômico que ele poderia gerar em todas tarifas. Porém, por essa mesma demanda, viabiliza o retorno gerado pelo Gerar 246 nas Tarifas Vermelha 1 e Vermelha 2. Este fato ainda aponta que para uma residência com consumo energético maior ou até mesmo condomínios residenciais com Geração Distribuída, o aerogerador SolarTerra Ideal se mostra um investimento mais rentável. Isto porque alcança uma TIR de até 1,89% a.m. no cenário 16, quando está em vigência a Tarifa Vermelha 2.

Estes resultados levam a conclusão de que os aerogeradores mais adequados para a geração de energia elétrica residencial são os que produzem quase que exatamente a demanda da casa em questão, tanto acima quanto abaixo. Por isso é muito importante que seja feito um levantamento do consumo energético para então escolher o aerogerador em função de cada necessidade. Caso o aerogerador tenha uma produção energética levemente superior que a demanda, os créditos podem ser utilizados para abater a diferença em épocas que o vento não tem velocidades tão elevadas.

Tendo em vista estes fatos, o microgerador real que se mostrou técnica e economicamente viável foi o Gerar 246 da Enersud para as Tarifas Vermelha 1 e Vermelha 2. Como o SolarTerra Real e o ELV H-3.1 se mostraram inviáveis em todos cenários, eles não são uma boa escolha de investimento para a residência unifamiliar. Em um cenário idealizado, onde há o consumo residencial é maior, o SolarTerra Ideal se torna viável técnica e economicamente.

De todo modo, conclui-se que o presente trabalho alcançou o objetivo inicial de analisar a viabilidade técnica e econômica de sistemas eólicos em residências unifamiliares através da criação de 16 diferentes cenários.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Relatórios de Consumo e Receita de Distribuição**. Brasília, 2019. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/relatorios-de-consumo-e-receita>

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Sobre a Conta Bandeiras**. Brasília, 2018. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset_publisher/CegkWaVJWF5E/content/conta-bandeiras/654800?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Finformacoes-tecnicas%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_CegkWaVJWF5E%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_s

AHMED, A. S. **Wind energy characteristics and wind park installation in Shark El-Ouinat, Egypt**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 82, n. September 2017, p. 734–742, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.031>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. **CCEE: Geração eólica cresce 16% no primeiro semestre**. São Paulo, 15 ago. 2018c. Disponível em: <http://abeeolica.org.br/noticias/ccee-geracao-eolica-cresce-16-no-primeiro-semester>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. **Dia mundial do vento: Eólicas já abastecem mais de 22 milhões de residências por mês no Brasil**. São Paulo, 15 jun. 2018b. Disponível em: <http://abeeolica.org.br/noticias/dia-mundial-do-vento-eolicas-ja-abastecem-mais-de-22-milhoes-de-residencias-por-mes-no-brasil/>.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Calculadora do Cidadão**. 2019. Disponível em: <https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADA0/publico/exibirFormCorrecaoValores.do?method=exibirFormCorrecaoValores>

BLANK, L. T.; TARQUIN, A. **Engineering economy**. 7. ed. New York: McGraw-Hill, 2012.

BRANKER, K; PATHAK, M.J.M; PEARCE, J.M. **A review of solar photovoltaic levelized Cost of Electricity**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, p. 4470–4482, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.104>

BRASIL. Lei Nº 12.703, de 7 de agosto de 2012. **Conversão da Medida provisória nº 567, de 2012**. Brasília, 2012.

BRUCK, M.; SANDBORN, P.; GOUDARZI, N. **A Levelized Cost of Energy (LCOE) model for wind farms that include Power Purchase Agreements (PPAs)**. *Renewable Energy*, v. 122, p. 131–139, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.12.100>

CAMARGOS, M. **Matemática Financeira: aplicada a produtos financeiros e à análise de investimentos**. 1 ed. São Paulo: Saraiva, 2014.

CASAROTTO FILHO, N.; KOPITTKKE, B. H. **Análise de investimentos**. 11. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

CHANG, B.; STARCHER, K. **Evaluation of wind and solar energy investments in Texas**. *Renewable Energy*, v. 132, p. 1348–1359, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.09.037>

COMPANHIA ESTADUAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **CEEE - Rio Grande do Sul**. Disponível em: <http://www.cee.com.br/pportal/cee/Component/Controller.aspx?CC=1755>

CUSTÓDIO, R. S. **Energia eólica para produção de energia elétrica**. Rio de Janeiro: Synergia Editora, 2013.

EHRlich, P. J.; MORAES, E. A. **Engenharia econômica: avaliação e seleção de projetos de investimentos**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2013.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Consumo mensal de energia elétrica por classe**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Consumo-mensal-de-energia-eletrica-por-classe-regioes-e-subsistemas>

HARSH, S. B.; HAMILTON, L.; WITTENBERG, E. **Small wind on the farm: a capital budgeting case study**. *Agricultural Finance Review*, v. 70, n. 2, p.201-213, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/00021461011065247>

HIRSCHFELD, H. **Engenharia Econômica e Análise de Custos**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 1998.

LEE, D. H. **Cost-benefit analysis, LCOE and evaluation of financial feasibility of full commercialization of biohydrogen**. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 41, n. 7, p. 4347–4357, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.09.071>

LIMA, L. A.; FILHO, C. R. B. **Wind energy assessment and wind farm simulation in Triunfo - Pernambuco, Brazil**. *Renewable Energy*, v. 35, n. 12, p. 2705–2713, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2010.04.019>

MACEDO, C. A. A.; ALBUQUERQUE, A. A. de; MORALLES, H. F. **Análise de viabilidade econômico-financeira de um projeto eólico com simulação Monte Carlo e avaliação de risco**. *Gestão & Produção*, v. 24, n. 4, p. 731–744, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0104-530x3439-16>

MILLER, L. et al. **Evaluating the link between LCOE and PPA elements and structure for wind energy**. *Energy Strategy Reviews*, v. 16, p. 33–42, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.esr.2017.02.006>

NASCIMENTO, L. **Brasil é o oitavo país do mundo em produção de energia eólica**. Agência Brasil, Brasília, 15 fev. 2018. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2018-02/brasil-e-o-oitavo-pais-do-mundo-em-producao-de-energia-eolica>

NETTO, A. S. **Estudo de viabilidade de microgeração de energia eólica no campus da UTFPR de Guarapuava**. Curitiba, 2017.

PRATES, W. R. **Qual a diferença entre Payback simples e descontado?** 2016. Disponível em: <https://www.wrprates.com/qual-e-a-diferenca-entre-Payback-simples-e-descontado/>

SAFARI, B. **Modeling wind speed and wind power distributions in Rwanda**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, n. 2, p. 925–935, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.001>

THUESEN, G. J.; FABRYCKY, W. J. **Engineering Economy**. 9. Ed. New Jersey: Prentice Hall, 2001.

WIND SOLAR ALLIANCE. **About Wind**. Washington, 2018. Disponível em: <https://windsolaralliance.org/wind/>

ZANON, A.; GENNARO, M. D.; KÜHNELT, H. **Wind energy harnessing of the NREL 5 MW reference wind turbine in icing conditions under different operational strategies**. *Renewable Energy*, v. 115, p. 760-772, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.08.076>