

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Karina Lenz Bieger

**VIABILIDADE ECONÔMICA DE MICROGERADORES EÓLICOS
PARA A REITORIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE
SANTA MARIA**

Santa Maria, RS
2018

Karina Lenz Bieger

**VIABILIDADE ECONÔMICA DE MICROGERADORES EÓLICOS PARA A
REITORIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria, como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Engenharia de Produção.**

Orientador: Cristiano Roos

Santa Maria, RS
2018

VIABILIDADE ECONÔMICA DE MICROGERADORES EÓLICOS PARA A REITORIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA

ECONOMIC VIABILITY OF WIND MICRO GENERATORS FOR THE RECTORY OF THE FEDERAL UNIVERSITY OF SANTA MARIA

Karina Lenz Bieger¹, Cristiano Roos²

RESUMO

A energia eólica é cada vez mais empregada para a geração mais limpa de energia elétrica por ser uma fonte renovável e abundante. Neste contexto, o problema de pesquisa deste trabalho é baseado na pergunta: há viabilidade técnica e econômica de gerar energia elétrica em um ambiente universitário na cidade de Santa Maria a partir de microgeradores eólicos? Assim, o objetivo geral é realizar um estudo de viabilidade econômica envolvendo a utilização de microgeradores eólicos para a geração de energia elétrica na reitoria da Universidade Federal de Santa Maria. Para tal, foram utilizando procedimentos metodológicos de modelagem e simulação. Foram simulados ao todo 20 cenários considerando ventos ideais e reais, levando em consideração a relação entre os custos de aquisição e manutenção dos microgeradores e as quatro bandeiras tarifárias vigentes no Brasil. Os métodos de análise econômica utilizados nas simulações foram VPL, TIR, Payback Simples e Payback Descontado, além do método LCOE. Como conclusão obteve-se que todos os cenários são viáveis economicamente, porém considerando condições ideais de vento. Ao trazer os cenários para a realidade dos ventos de Santa Maria, obteve-se o resultado de que o investimento é economicamente inviável.

Descritores: Engenharia econômica; análise de investimento; energia eólica.

ABSTRACT

Wind energy is increasingly used for the cleaner generation of electricity because it is a renewable and abundant source. In this context, the research problem of this work is based on the question: is there technical and economic feasibility of generating electricity in a university environment in the city of Santa Maria from wind micro generators? Thus, the general objective is to carry out an economic feasibility study involving the use of wind micro generators for the generation of electric energy in the rectory of the Federal University of Santa Maria. For this, methodological procedures of modeling and simulation were used. Sixteen scenarios were simulated taking into account the relationship between the acquisition and maintenance costs of the micro generators and the four tariff banners in force in Brazil. The economic analysis methods used in the simulations were NPV, IRR, Simple Payback and Discounted Payback, in addition to the LCOE method. As a conclusion it was obtained that all the scenarios are economically feasible, but considering ideal wind conditions. In bringing the scenarios to the reality of the Santa Maria winds, the result was that the investment is economically unfeasible.

Keywords: Economic engineering; investment analysis; wind energy.

¹ Graduanda em Bacharel de Engenharia de Produção, autora; Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Centro de Tecnologia – UFSM

² Engenheiro de Produção, orientador; Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina; Professor do Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas – UFSM

1 INTRODUÇÃO

Atualmente a energia eólica é a tecnologia com os preços mais competitivos em muitos, senão na maioria, dos mercados mundiais. Com o surgimento dos sistemas híbridos (eólicos e solares), dos gerenciamentos de rede mais sofisticados e dos armazenamentos cada vez mais acessíveis, é possível ilustrar um setor de energia elétrica totalmente livre de combustíveis fósseis (GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL, 2017).

Segundo o Global Wind Energy Council (GWEC) (2017), mais de 54 GW de energia eólica limpa foram instalados em todo o mercado global de 2016, mercado este que agora compreende mais de 90 países, incluindo 9 países com mais de 10.000 MW instalados e 29 países que passaram a marca de 1.000 MW. As capacidades globais acumuladas cresceram 12,6%, atingindo um total de 486,8 GW. O Brasil, segundo Schmidt et al. (2016), é um país privilegiado sob o aspecto energético, pois seu relevo, hidrografia e clima tropical permitem o aproveitamento das diversas fontes renováveis de energia, como a hidráulica, a biomassa, a eólica e a solar.

O país vem mantendo um esforço contínuo para a manutenção de uma matriz energética limpa no intuito de atender os compromissos internacionais assumidos (SANTOS et al., 2017). Os números apontam para um crescimento da matriz energética eólica no país. O segmento já é responsável por 8,3% da energia produzida no Brasil, percentual ainda distante dos 60,9% produzido pelas hidrelétricas, mas já próximo dos 9,3% produzidos pelas usinas de biomassa, que ocupam o segundo posto no ranking nacional (NASCIMENTO, 2018).

A capacidade instalada em 2017 foi de 2 GW, sendo que a capacidade instalada atingiu 12,8 GW (ALVES, 2018). Apesar de ainda não ser um fator significativo devido às dimensões territoriais do país, representa um ponto positivo. Isto porque as emissões de gases de efeito estufa do setor de energia partiram de um patamar de 220,8 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO_2) em 1990 para 449,3 milhões de toneladas em 2013, superando as emissões da agropecuária e praticamente equiparando-se às emissões por mudança de uso da terra (AZEVEDO; NASCIMENTO; SCHRAM, 2017).

Dentre os esforços para aumentar o uso dos ventos no país, pode-se citar o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, um guia acerca dos ventos incidentes em todo o território nacional. Além disso, pode-se citar a base de dados do projeto SONDA, que trata da implementação de recursos e infraestruturas para apurar e melhorar a base de dados dos recursos eólicos no Brasil. Os resultados e produtos dessas pesquisas demonstram o potencial energético e a viabilidade técnica de projetos de aproveitamento desse recurso renovável.

1.1 DEFINIÇÃO DO TEMA E DO PROBLEMA DE PESQUISA

Neste contexto, a presente pesquisa tem como tema a análise de viabilidade econômica de implantação de microgeradores eólicos na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Este tema de pesquisa está baseado no questionamento originado em um contexto prático que pode ser descrito da seguinte maneira: Produzir energia elétrica com microgeradores eólicos é viável economicamente para a reitoria da UFSM?

Esta oportunidade de pesquisa pode se sustentar pelo fato de haver poucos trabalhos aplicados que envolvam o estudo de viabilidade econômica de utilização de microgeradores eólicos para a geração de energia elétrica em universidades.

1.2 JUSTIFICATIVAS

A principal justificativa deste trabalho são as crescentes utilizações de fontes renováveis na geração de energia elétrica, principalmente a eólica. As fontes renováveis de energia são apresentadas como a principal alternativa para atender as demandas da sociedade com relação à qualidade e segurança do atendimento da demanda de eletricidade com a redução dos danos ambientais decorrentes do consumo de energia elétrica (MARTINS; GUARNIERI; PEREIRA, 2008).

Segundo Pinto, Martins e Pereira (2017), atualmente a energia eólica está mostrando destaque no cenário energético brasileiro por ser uma fonte energética renovável que apresenta elevada disponibilidade no território e cujo aproveitamento apresenta baixos níveis de emissão de gases de efeito estufa. Hoje a energia eólica é considerada uma alternativa energética limpa e competitiva, inclusive ao se comparar com tecnologias tradicionais (SIMAS; PACCA, 2013), como a energia proveniente de usinas térmicas e hidrelétricas.

Paralelamente, a geração de energia eólica não requer grandes ou exclusivas áreas, que podem ser destinadas, concomitantemente, para a agricultura e a pecuária (ABREU et al., 2014) ou até mesmo em espaços como universidades.

1.3 OBJETIVOS

Neste contexto, o objetivo geral desta pesquisa é realizar um estudo de viabilidade econômica envolvendo a utilização de microgeradores eólicos para a geração de energia elétrica na reitoria da Universidade Federal de Santa Maria. Para alcançar este objetivo, foram

elencados os seguintes objetivos específicos: 1. Definir, a partir de uma revisão bibliográfica, quais são os métodos de análise econômica utilizados em outros estudos neste contexto; 2. Coletar dados em um instituto especializado acerca dos ventos incidentes dentro da Universidade Federal de Santa Maria; 3. Buscar dados técnicos e econômicos a respeito de microgeradores eólicos que atendam as especificações acerca dos ventos; 4. Aplicar métodos de análise econômica para concluir a respeito da viabilidade econômica deste projeto.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Será apresentado na próxima seção deste trabalho o referencial teórico utilizado para o desenvolvimento desta pesquisa. Em seguida, na terceira seção são apresentados os procedimentos metodológicos empregados para o alcance do objetivo geral. Na quarta seção são apresentados os resultados e as análises decorrentes. Na quinta e última seção é apresentada a conclusão deste trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico irá abordar definições de Engenharia Econômica, análise de investimentos, Taxa Mínima de Atratividade, Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno, Payback Simples, Payback Descontado e LCOE. Além disso, serão apresentadas definições de energia eólica e estudos publicados nesta área. Na sequência, irá abordar estudos onde foi analisada a Engenharia Econômica aplicada em sistemas eólicos e fotovoltaicos.

2.1 ENGENHARIA ECONÔMICA

Blank e Tarquin (2008) afirmam que a Engenharia Econômica está no âmago do processo de tomada de decisões. Dentro da avaliação e da seleção de projetos de investimento, a Engenharia Econômica analisa aspectos econômico-financeiros utilizando critérios quantitativos (ERHLICH; MORAES, 2013).

Fundamentalmente, a Engenharia Econômica envolve formular, estimar e avaliar os resultados econômicos, quando alternativas para realizar determinado propósito estão disponíveis (BLANK; TARQUIN, 2008). Segundo Grant e Ireson (1970), a Engenharia

Econômica compreende os princípios e técnicas necessárias para se tomar decisões relativas à aquisição e à disposição de bens de capital, nas indústrias e nos órgãos governamentais.

2.1.1 Análise de Investimento

Conforme Casarotto Filho e Kopittke (2000), ao fazer um novo investimento, uma empresa deve fazer uma análise de viabilidade do mesmo. A maioria dos problemas na economia envolve determinar o que é econômico em longo prazo, ou seja, durante um período considerável de tempo (GRANT; IRESO, 1970). É fundamental para o controle e a racionalização de recursos de capital, a análise prévia do investimento, pois o conhecimento dos valores de tempo e dinheiro são critérios essenciais para qualquer decisão neste tema (HIRSCHFELD, 1998).

São quatro os métodos de Análise de Investimentos que serão abordados nesta pesquisa: Valor Presente Líquido (VPL), o Payback Simples (PBS), o Payback Descontado (PBD) e a Taxa Interna de Retorno (TIR). Contudo, serão apresentados dois conceitos complementares e importantes para este trabalho: a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) e o The Levelized Cost of Energy (LCOE).

2.1.2 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

Ao se analisar uma proposta de investimento deve ser considerado que há oportunidade de auferir retornos pela aplicação do mesmo capital em outros projetos, assim, a nova proposta para ser atrativa deve render, no mínimo, a taxa de juros equivalente à rentabilidade das aplicações correntes e de pouco risco; este conceito é definido por Casarotto Filho e Kopittke (2000) como a Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Hirschfeld (1998), diz que a TMA é uma taxa de juros comparativa e prefixada, com a qual é comparada a taxa de juros que o dinheiro investido irá proporcionar.

2.1.3 Método do Valor Presente Líquido (VPL)

O método do Valor Presente Líquido (VPL) tem como finalidade determinar um valor no instante considerado inicial, a partir de um fluxo de caixa formado por uma série de receitas e despesas (HIRSCHFELD, 1998). Ehrlich e Moraes (2013) explicam que o VPL consiste em colapsar todos os valores para o ponto de tempo zero e, dadas diversas

alternativas, é possível calcular os valores no tempo zero equivalentes às séries correspondentes, a fim de compará-las para decidir qual é a melhor.

Segundo Ross et al. (2015), a regra básica de investimento pode ser generalizada como: aceite um projeto se o VPL for maior ou igual à zero e rejeite um projeto se o VPL for menor do que zero. Casarotto Filho e Kopittke (2000), apresentam a seguinte equação para encontrar o valor do VPL:

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} - FC_0 \quad (1)$$

Onde: VPL é o fluxo de caixa do investimento [R\$]; FC_t é a entrada ou fluxo de caixa no período t [R\$]; n é o número de períodos na linha do tempo; t é o período genérico na linha do tempo; k é a taxa de custo de capital da empresa, TMA [% ao período]; FC_0 é o investimento inicial.

2.1.4 Método da Taxa Interna de Retorno (TIR)

Segundo Newnan e Lavelle (2000), o método da Taxa Interna de Retorno (TIR) é provavelmente a técnica exata de análise mais utilizada na indústria. A TIR de um fluxo de caixa é a taxa de juros necessária para que o VPL seja nulo, sendo considerada uma taxa intrínseca ao projeto (ROSS et al., 2015).

Melo (2012) comenta que, uma vez obtida a TIR, ela deve ser comparada com a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) no instante em que a decisão sobre o investimento for tomada e para aceitar o projeto, a TIR deve ser maior que a TMA, indicando que a taxa de retorno do mesmo é maior que seu custo de oportunidade. A Equação 2, apresentada por Siqueira, Souza e Ponciano (2011), expressa o cálculo da TIR.

$$0 = \sum_{t=1}^n \left(\frac{FC_t}{(1+k)^t} \right) - FC_0 \quad (2)$$

Onde: k é a Taxa Interna de Retorno.

2.1.5 Método do Payback Simples (PBS)

Ross et al. (2015), apresentam que por causa de sua simplicidade, as empresas utilizam o Payback Simples (PBS) como um filtro para tomar a miríade de decisões em investimentos menores com que se confrontam continuamente. O método do Payback não leva em consideração o fluxo de caixa após o período de retorno do investimento, justificando a

utilização desse método apenas como um indicador complementar (CASAROTTO FILHO; KOPITTKKE, 2000).

2.1.6 Método do Payback Descontado (PBD)

Ross et al. (2015), afirmam que no Payback Descontado (PBD) primeiro desconta-se os fluxos de caixa e, então, pergunta-se quanto tempo leva para que os fluxos de caixa descontados se igualem ao investimento inicial. O critério de avaliação econômica desse método é o tempo de retorno do capital, isto é, quanto menor for o tempo de recuperação do investimento, mais atrativo ele será (REBELATTO, 2004).

2.1.7 The Levelized Cost of Energy (LCOE)

Segundo Pawel (2014), o LCOE é definido como o custo de vida útil de um investimento dividido pela energia acumulada gerada por este investimento. A metodologia Levelized Cost of Energy (LCOE) representa os custos totais do ciclo de vida (fixo e variável) de uma tecnologia de geração de energia por unidade de eletricidade (MWh). Esta métrica permite comparar os custos de geração de plantas convencionais com VRE (fontes renováveis variáveis) como a energia eólica e solar fotovoltaica, apesar de suas diferentes estruturas de custos (UECKERDT et al., 2013).

Como explica Levitt et al. (2011), o LCOE representa o retorno mínimo para cobrir todos os custos que envolvem o processo de produção de energia e que abrangem todo o ciclo de vida de um parque eólico, passando pela construção, instalação, produção e manutenção de um parque. Mitscher e Rüther (2012) explicam que seus conceitos permitem uma comparação dos custos de geração ao longo do ciclo de vida de projetos de diferentes tamanhos, duração ou tamanho de investimento.

Conforme Ramadham e Naseeb (2011), para a determinação do LCOE é necessário o cálculo do fator de recuperação do capital (CRF) para o período analisado, obtido pela Equação 3.

$$CRF = \frac{(i * (1 + i)^n)}{[(1 + i)^n - 1]} \quad (3)$$

Onde: i é a taxa de juros aplicada [% ao período]; n é o período de análise [períodos].

Após a definição deste fator é possível obter o LCOE segundo a Equação 4.

$$LCOE = \frac{(CI * CRF) + \sum_n CM}{\sum_n PT} \quad (4)$$

Onde: CI é o custo de instalação [R\$]; CRF é o fator de recuperação do capital; n é o número de períodos [períodos]; CM é o custo de manutenção ao longo do período [R\$]; e PT é a produtividade total [KWh].

2.2 ENERGIA EÓLICA

A energia eólica é uma fonte de energia renovável gerada a partir do vento que ao movimentar as turbinas de um gerador eólico produz energia elétrica. Segundo Saidur et al. (2011), a energia eólica é limpa, amigável ao meio ambiente em termos tecnológicos e é compatível para a geração elétrica em grande escala, bem como, tem reduzida poluição ambiental, baixo consumo de água e não produz dióxido de carbono. Também é vista como energia ideal porque não polui, não requer combustível, não cria gases tóxicos e não produz lixo radioativo (JABBER, 2013).

A geração de energia eólica tem poucos impactos negativos no meio ambiente, fazendo com que seja a escolha preferível nos locais onde as condições de vento sejam favoráveis (BLACKLER; IQBAL, 2005). O impacto negativo mais significativo de uma turbina eólica é na vida selvagem, além do impacto visual e do ruído. Alguns outros impactos incluem a desorientação de radares e sinais de televisão por causa das forças magnéticas geradas pelas turbinas, porém os impactos causados por elas são pequenos se comparados a outros tipos de fontes de energia (SAIDUR et al., 2011).

Os benefícios da inserção da energia eólica para a segurança da matriz elétrica brasileira são importantes devido à sua complementaridade com o regime hídrico e manutenção do caráter limpo e renovável da matriz energética brasileira (RAMPINELLI; ROSA JÚNIOR, 2012). A instalação do projeto é rápida, quando comparada a outras fontes energéticas, já que as turbinas eólicas são produzidas em escala industrial e podem ser rapidamente instaladas e conectadas à rede elétrica (CEARÁ, 2001). O primeiro aerogerador foi instalado no Brasil em 1992 no arquipélago de Fernando de Noronha. Dados recentes mostram que 529 usinas eólicas estão operando no Brasil, totalizando uma potência instalada da ordem de 12.956 MW (BANCO DE INFORMAÇÕES DE GERAÇÃO ANEEL, 2018). Embora ainda existam divergências entre especialistas na estimativa do potencial eólico brasileiro, vários estudos indicam valores consideráveis para um alto desempenho deste tipo de energia no Brasil (COSTA; LYRA, 2012).

2.2.1 Sistemas eólicos aplicados

Com o intuito de entender o que outros autores realizaram em aplicações reais de turbinas eólicas, procurou-se na literatura alguns trabalhos que exploraram implantações de turbinas e parques eólicos. Buscou-se por trabalhos com foco na viabilidade técnica de implantação das turbinas e não trabalhos com foco na viabilidade econômica de sua implantação.

Ngala, Alkli e Aji (2007) realizaram um estudo de análise estatística do potencial energético dos ventos em Maiduguri, Nigéria, usando a distribuição de Weibull. Também realizaram uma análise de custo-benefício, utilizando para isso os custos de energia eólica, custos de produção de energia elétrica e custos de turbinas eólicas. Visando desenvolver um estudo para descobrir qual a melhor turbina eólica para determinado local, Ibrahim e Albani (2016), estudaram o layout de um parque eólico e as distribuições dos ventos usando o modelo de Weibull, além de calcular o fator de capacidade das turbinas. Por fim, também realizaram uma análise de custo-benefício.

Já Nyamdash, Denny e O'Malley (2010), estudaram o impacto de combinar a geração de energia eólica e estocagem dessa energia em larga escala com uma planta de energia termal na Irlanda, usando para isso os custos envolvidos no processo. Utilizando o programa computacional HOMER, Rodrigues e Rossi (2016), compararam a produção de energia elétrica de dois geradores eólicos de pequeno porte por meio de simulação. O recurso eólico de três cidades diferentes foi considerado: Campinas (SP/BR), Cubatão (SP/BR) e Roscoe (TX/EUA). Um sistema eólico conectado à rede e um sistema eólico isolado foram avaliados.

A energia eólica offshore consiste em construir parques eólicos ao longo da costa marítima e neste cenário, Snyder e Kaiser (2009), estudaram os impactos positivos e negativos da produção de energia eólica offshore comparando os mesmos, além dos custos envolvidos, com a produção de energia onshore. Seguindo a linha de estudo de implantação de energia eólica offshore, Stentoft, Narasimhan e Poulsen (2016), buscaram introduzir um estudo a partir da perspectiva da gestão da cadeia de suprimentos, almejando com isso, a redução de custos de energia (CoE) na indústria de produção energética offshore se comparada a outras formas de produção de energia.

2.2.2 Engenharia Econômica aplicada aos sistemas eólicos

A fim de demonstrar e entender como outros autores abordam a análise de viabilidade econômica, além dos métodos utilizados para tal, fez-se uma revisão teórica procurando em outros trabalhos aplicações que se assemelham com o problema de pesquisa deste trabalho.

Macedo, Albuquerque e Moralles (2017), realizaram um estudo analisando a viabilidade econômico-financeira de um potencial parque de geração de energia eólica em quatro diferentes localidades do Brasil. Para tal, aplicaram o método da Taxa Interna de Retorno (TIR) aliado às técnicas auxiliares de simulação de Monte Carlo. Além desta, outras pesquisas foram elaboradas por acadêmicos brasileiros com o intuito de determinar a viabilidade dos empreendimentos eólicos brasileiros. Melo (2012) conduziu um estudo em um parque eólico nordestino, aplicando diferentes meios de análise econômico-financeira, tais como Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR).

Um fator a se destacar em estudos da área e muito pertinente ao presente trabalho, trata-se da elaboração de possíveis cenários influentes no estudo. Sendo assim, Albadi e El-Saadany (2007), analisaram economicamente projetos de energia eólica em Ontário. O estudo foi feito para diferentes turbinas eólicas e diferentes cenários de velocidade de vento, obtendo para cada um os valores do Valor Presente Líquido (VPL), da Taxa Interna de Retorno (TIR) e do Payback (PB).

Blackler e Iqbal (2005), desenvolveram um estudo de pré-viabilidade de 25% da geração de energia térmica usando turbinas eólicas na área de Holyrood, onde atualmente é gerada energia termal. Já Ngan e Tan (2011), analisaram o potencial de implementação de um sistema híbrido fotovoltaico/eólico/diesel em uma cidade no sul da Malásia em sete cenários diferentes. Nas duas análises foi utilizado o software HOMER para a simulação e, para analisar a viabilidade econômica, foi utilizado o VPL. Também usando o VPL como parâmetro, Rocha et al. (2018), avaliaram a viabilidade econômica estocástica da geração de energia eólica em residências brasileiras.

Já Harsh, Hamilton e Wittenberg (2010), focaram em estudar a viabilidade de pequenas instalações de turbinas eólicas em Michigan. Para isso, analisaram os valores obtidos com a aplicação dos métodos VPL, TIR e PB. Buscando investigar os parâmetros tecno-econômicos que regem o comportamento econômico de parques eólicos, Kaldellis e Gavras (2000), exploraram um modelo de análise custo-benefício adaptado para o mercado grego. Para tal, foi calculado o PB, a eficiência econômica de investimentos similares, além do impacto do custo de capital e do índice de retorno sobre o investimento.

Assim, para analisar a viabilidade da instalação de turbinas eólicas, percebe-se que muitos autores analisam primeiramente o regime de ventos do provável local de instalação. Nesse contexto, Kumar e Nair (2012), desenvolveram um estudo em Wainiyaku, Fiji, onde analisaram os ventos da região e, através do VPL, analisaram sua viabilidade econômica. Já Aquila et al. (2017), propuseram uma estrutura para análise de investimentos capaz de abranger diferentes incertezas e possibilidades para os geradores de energia eólica. Para realizar a análise de viabilidade econômica utilizaram o VPL e o PB.

2.2.3 Engenharia Econômica aplicada a outros sistemas de energia renovável

A fim de ampliar a pesquisa, buscou-se por estudos de viabilidade econômica aplicados a outras fontes de energia renovável. Neste contexto, foi realizada uma revisão bibliográfica voltada a sistemas fotovoltaicos, já que estes apresentam um amplo campo de pesquisa.

Dassi et al. (2017), realizaram um estudo acerca da viabilidade econômico-financeira da implantação de painéis fotovoltaicos em uma Instituição de Ensino Superior de Santa Catarina. Os métodos Payback Descontado (PBD), Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Valor Anual Uniforme Equivalente (VAUE) foram utilizados como parâmetros no estudo.

Odeh, Yohanis e Norton (2006), realizaram uma comparação da viabilidade econômica de sistemas de bombeamento de água utilizando energia fotovoltaica e diesel em sistemas com tamanhos na faixa de 2,8 kW a 15 kW. Já Lee et al. (2016) deram foco na aplicação de sistemas fotovoltaicos solares em uma universidade em Connecticut. Para realizar ambos estudos de viabilidade foram aplicados os métodos da TIR e do VPL.

Bustos, Toledo e Fuentes (2016), analisaram a instalação de uma planta fotovoltaica de 30 MW no Chile. Weida, Kumar e Madlener (2016) realizaram um estudo na Alemanha para responder se sistemas fotovoltaicos são competitivos em relação a fontes de geração de eletricidade a partir de combustíveis fósseis. Já Mondal e Islam (2011), avaliaram um sistema de geração de energia utilizando um sistema fotovoltaico conectado à rede de 1 MW para 14 locais em Bangladesh. Nos três estudos foi utilizado o software RETScreen e foram utilizados os valores do VPL, da TIR e do PB para analisar economicamente a viabilidade da instalação.

Já Ayompe et al. (2010), Holdermann, Kissel e Beigel (2014), Ren, Gao e Ruan (2009) realizaram um estudo de viabilidade econômica em sistemas fotovoltaicos conectados à rede aplicado na Irlanda, no Brasil e no Japão, respectivamente. Nos três estudos, foram utilizados

como métodos de análise de viabilidade econômica o VPL, junto com os custos de energia do projeto. Similarmente, Das et al. (2015), utilizaram o VPL para analisar o ciclo de vida de módulos de energia solar fotovoltaica autônoma na Índia.

Visando avaliar o tempo de retorno de sistemas fotovoltaicos utilizando o PB, Alsema e Nieuwlaar (2000) analisaram o balanço energético de alguns sistemas conectados à rede na Europa Ocidental. Da mesma forma, focando os sistemas fotovoltaicos conectados à rede, Mitscher e Rüter (2012), desenvolveram um estudo em cinco capitais brasileiras acerca da competitividade econômica da geração de energia solar e utilizaram o VPL e o PB para tal.

2.3 MÉTODOS DE ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA APLICADOS

Com o propósito de organizar e apresentar os métodos de Engenharia Econômica utilizados nos trabalhos que compõem esta revisão bibliográfica foi elaborado o Quadro 1.

Quadro 1 - Métodos utilizados em cada um dos trabalhos pesquisados

Nº	Autores (Referências Bibliográficas)	Métodos aplicados	Sistema onde os métodos foram aplicados
1	Macedo, Albuquerque e Moralles (2017)	TIR	Eólico
2	Melo (2012)	VPL, TIR	Eólico
3	Albadi e El-Saadany (2007)	VPL, TIR, PB	Eólico
4	Blackler e Iqbal (2005)	VPL	Eólico
5	Ngan e Tan (2011)	VPL	Eólico
6	Rocha et al. (2018)	VPL	Eólico
7	Harsh, Hamilton e Wittenberg (2010)	VPL, TIR, PB	Eólico
8	Kaldellis e Gavras (2000)	PB	Eólico
9	Kumar e Nair (2012)	VPL	Eólico
10	Aquila et al. (2017)	VPL, PB	Eólico
11	Dassi et al. (2017)	VPL, TIR, PBD, VAUE	Fotovoltaico
12	Odeh, Yohanis e Norton (2006)	TIR, VPL	Fotovoltaico
13	Lee et al. (2016)	VPL, TIR	Fotovoltaico
14	Bustos, Toledo e Fuentes (2016)	VPL, TIR, PB	Fotovoltaico
15	Weidaa, Kumarb e Madlenerb (2016)	VPL, TIR, PB	Fotovoltaico
16	Mondal e Islam (2011)	VPL, TIR, PB	Fotovoltaico
17	Ayompe et al. (2010)	VPL	Fotovoltaico
18	Holdermann, Kissel e Beigel (2014)	VPL	Fotovoltaico
19	Ren, Gao e Ruan (2009)	VPL	Fotovoltaico
20	Das et al. (2015)	VPL	Fotovoltaico
21	Alsema e Nieuwlaar (2000)	PB	Fotovoltaico
22	Mitscher e Rüter (2012)	VPL, PB	Fotovoltaico

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

No quadro constam os métodos de análise de viabilidade econômica aplicados por autores para a solução de problemas semelhantes ao apresentado neste trabalho. A partir deste quadro, optou-se por calcular nesta pesquisa o VPL, a TIR, o PB e o PBD, além do LCOE.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta seção é dividida em três subseções nas quais serão abordados os métodos que foram utilizados para a realização da pesquisa. Primeiramente, define-se o cenário e o método de pesquisa e, em seguida, são expostas as etapas de pesquisa.

3.1 CENÁRIO

O presente estudo foi desenvolvido na cidade de Santa Maria, em específico na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Trata-se de uma instituição de ensino superior pública e federal brasileira fundada em 1960. O campus sede localiza-se na Cidade Universitária Professor José Mariano da Rocha Filho, no bairro Camobi e, no presente momento, a UFSM conta com 212 cursos e atende aproximadamente 20 mil alunos (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, 2018).

Na cidade de Santa Maria há uma única distribuidora de energia elétrica, a RGE Sul, que atende cerca de quatro milhões de consumidores em 118 municípios gaúchos, fornecendo 30,4% da energia consumida no estado do Rio Grande do Sul (RGE SUL, 2017).

3.2 MÉTODO DE PESQUISA

Trujillo Ferrari (1974) define método como a forma de proceder ao longo de um caminho. Na ciência os métodos constituem os instrumentos básicos que ordenam de início os pensamentos em sistemas e traçam de modo ordenado a forma de proceder do cientista ao longo de um percurso para alcançar um objetivo. Já pesquisa é definida por Gil (2010) como o procedimento racional e sistemático administrado com o propósito de apresentar soluções a problemas pré-estabelecidos e que pode ser classificada quanto à sua natureza, à forma de abordagem do problema, aos objetivos e aos procedimentos técnicos.

Esta pesquisa pode ser classificada quando à sua natureza como aplicada, pois, como explica Gil (2010), pesquisas aplicadas são voltadas à aquisição de conhecimentos com vistas à aplicação em uma situação específica, neste caso, adquirir conhecimentos necessários acerca da viabilidade econômica e da geração de energia eólica.

No contexto da forma de abordagem do problema, esta se trata de uma pesquisa quantitativa, seguindo a descrição de Sampieri, Collado e Lucio (2013) que definem que o enfoque quantitativo utiliza a coleta de dados para testar hipóteses, baseando-se na medição

numérica e na análise estatística para estabelecer padrões e comprovar teorias. Quanto aos objetivos, pode-se classificar a pesquisa como descritiva, já que esta busca a identificação de possíveis relações entre variáveis (GIL, 2010).

No que tange aos procedimentos técnicos, classifica-se como modelagem e simulação, logo que este método permite a inter-relação simultânea das variáveis pré-definidas afim da obtenção de um sistema que possibilite a solução do problema (MIGUEL, 2012). A principal vantagem da simulação, para o presente trabalho supondo cenários, é o fato de ser possível estudar o comportamento de um sistema, sem que seja necessário construí-lo fisicamente (MARTINS; MELLO; TURRIONI, 2014).

3.3 ETAPAS DE PESQUISA

Este trabalho de conclusão de curso foi dividido em algumas etapas, dentre elas se encontra a revisão bibliográfica, na qual se realizou uma busca em diferentes plataformas digitais para pesquisar trabalhos com propósitos semelhantes ao deste. Os resultados obtidos podem ser observados no Quadro 2, que apresenta a relação entre as palavras-chave e os locais de pesquisa.

Quadro 2 – Resultados de pesquisas por artigos publicados em bases de dados

Palavras-chave	Emerald	SciELO	Science Direct	Capes	Google Acadêmico
“wind power economic viability”	1.417	0	16.194	9.847	31.700
“wind power feasibility”	1.852	1	38.477	3.254	79.300
“wind turbines economic viability”	167	0	7.482	3.202	20.000
“wind energy”	6.844	15	170.665	14.917	1.580.000
“energia eólica”	Não pesq.	26	Não pesq.	1.070	15.300
“photovoltaic system feasibility”	171	0	18.376	11.298	20.700

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Dessa pesquisa bibliográfica foram utilizados 28 artigos, dos quais 16 tratam sobre energia eólica, dentre estes, 10 abordam análises de viabilidade econômica da implantação de geradores eólicos. Como já explanado anteriormente, também se pesquisou a respeito da viabilidade econômica da implantação de painéis fotovoltaicos e dessa pesquisa utilizaram-se 12 trabalhos. Salienta-se ainda que para o embasamento teórico deste estudo foram utilizados ainda 8 livros e dados encontrados em 2 sites relacionados com o tema deste trabalho.

Para a realização deste trabalho, baseando-se na bibliografia pesquisada, foram utilizadas as seguintes variáveis para os cálculos de viabilidade econômica: custos de

aquisição de microgeradores eólicos, custos de manutenção, TMA, correção monetária, custos de energia elétrica para a UFSM e demanda de energia elétrica pela reitoria.

Os custos de aquisição de microgeradores eólicos foram buscados em pesquisas em sites de fabricantes como a Energia Pura e Globaltek Energias Renováveis. Porém, ao entrar em contato com as duas empresas, apesar de obter informações técnicas sobre o modelo de microgerador comercializado por cada uma, obteve-se o retorno acerca desses custos de apenas uma delas. Já os custos de manutenção foram estimados em 3% ao ano do valor do investimento original, de acordo com dados estatísticos de projetos anteriores (TSAKNIAS, 2010). Paralelamente, os dados acerca dos ventos incidentes dentro da Universidade Federal de Santa Maria foram obtidos através do site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

O rendimento médio mensal da poupança dos últimos seis anos foi adotado como TMA, tendo como base de dados a Calculadora do Cidadão do Banco Central do Brasil. Adotou-se esta TMA pelo fato da poupança caracterizar-se como um meio de investir sem desconto de imposto de renda, além de ser um serviço simples e gratuito. Para a inflação, foi considerada e coletada na Calculadora do Cidadão a taxa média anual dos últimos 10 anos do Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPC-A) calculado pelo IBGE.

Foi considerado como vida útil dos equipamentos 20 anos. A tarifa da geração de energia elétrica foi obtida por meio de pesquisa eletrônica através do site da Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE). Visando uma análise mais ampla da viabilidade do investimento, simularam-se dezesseis cenários para a implantação dos microgeradores supondo que na reitoria incidem ventos ideais e, logo após, foram simulados mais quatro cenários considerando ventos reais. Estes cenários foram baseados na relação entre as quatro bandeiras tarifárias e os custos de investimento inicial nos microgeradores eólicos.

Após a coleta de dados, foi realizada a análise dos dados que envolveram as simulações dos cenários. Os resultados obtidos foram estudados a fim de verificar a viabilidade econômica da implantação de microgeradores eólicos na UFSM. Para tal, foram utilizados os métodos VPL, TIR, Payback Simples e Payback Descontado, calculados com o auxílio do software Microsoft Excel. As soluções resultantes das simulações foram relacionadas com o método do LCOE. E assim, por último, foi possível concluir este trabalho.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Esta seção apresenta os dados coletados e os resultados obtidos ao longo de cinco subseções. Primeiramente será apresentada a coleta do histórico dos dados envolvidos na

criação dos cenários simulados. A segunda e a terceira subseção trazem os cálculos de viabilidade econômica, uma levando em consideração ventos ideais e a outra, ventos reais. Por fim, na quarta e quinta subseção são apresentados os cálculos do método LCOE, bem como, a análise dos resultados.

4.1 COLETA DE DADOS

Para melhor entendimento desta subseção, a mesma foi dividida em seis partes. Inicialmente são apresentados os dados do consumo de energia elétrica e da tarifa de energia elétrica, bem como, os dados acerca dos ventos na reitoria da UFSM. Posteriormente, na quarta parte serão apresentadas a taxa de juros e de inflação. Na quinta parte são descritas as características e especificações dos microgeradores escolhidos. Na sexta parte é feita uma análise econômica entre os modelos de microgeradores selecionados para este trabalho.

4.1.1 Dados do consumo de energia elétrica

Este trabalho teve como cenário de pesquisa a reitoria da UFSM. Sendo assim, para melhorar o entendimento sobre o local tornou-se necessário coletar dados relacionados com o consumo energético do prédio. No período de 08/03/2015 à 25/02/2016, com o auxílio de um aparelho de medição instalado no prédio, foi possível coletar dados acerca do consumo de energia elétrica na reitoria. Estes dados foram coletados e fornecidos por um servidor público federal da UFSM. O aparelho registrava diariamente os dados de consumo a cada 15 minutos. Com isso, foi possível obter e analisar os valores de consumo mínimo, médio e máximo do referido período. No Quadro 3 pode-se observar o valor de consumo médio diário na reitoria.

Quadro 3 – Consumo médio diário na reitoria (kWh)

Ano	Mês	Consumo médio diário (kWh)	Ano	Mês	Consumo médio diário (kWh)
2015	Março	29,071	2015	Setembro	17,930
2015	Abril	21,963	2015	Outubro	18,539
2015	Maio	19,916	2015	Novembro	20,619
2015	Junho	21,032	2015	Dezembro	21,821
2015	Julho	21,256	2016	Janeiro	26,060
2015	Agosto	20,344	2016	Fevereiro	26,378

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

No Quadro 3 é possível observar que os meses de maior consumo de energia são janeiro, fevereiro e março. A partir desses dados foi possível calcular o consumo médio diário durante o período de análise que equivale a 22,077 kWh.

4.1.2 Dados das tarifas de energia elétrica

Os dados referentes à tarifa de energia elétrica foram obtidos através de pesquisa no site da Companhia Estadual de Energia Elétrica (2018), sendo considerado o período de 2016 a 2018. A universidade pertence à tarifa horária azul, subgrupo A4, que engloba unidades consumidoras com fornecimento em tensão superior a 2,3 kV e inferior a 25 kV (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2018). É possível observar no Quadro 4 os dados coletados na pesquisa das tarifas relativas aos horários de ponta e fora de ponta, porém não estão inclusos impostos, taxas de iluminação e valores adicionais das bandeiras tarifárias.

Quadro 4 – Histórico das tarifas de energia subgrupo A4

Ano	Ponta (R\$/kWh)	Fora de ponta (R\$/kWh)	Ano	Ponta (R\$/kWh)	Fora de ponta (R\$/kWh)
2018	0,46620	0,32048	2017a	0,35276	0,25435
2017b	0,34693	0,24853	2016	0,47623	0,33274

Fonte: Adaptado de ANEEL (2018).

Em maio de 2017 entrou em vigência uma nova tarifa regulamentada pela Resolução Homologatória ANEEL nº 2.214/2017, por isso há uma divisão no quadro em 2017a e 2017b. A partir de 2015 passou a vigorar o sistema de bandeiras tarifárias, regulamentado pela Resolução Normativa nº 547/13. Este sistema indica se haverá ou não acréscimo no valor da energia a ser repassada ao consumidor final em função das condições de geração de eletricidade e do funcionamento das usinas hidrelétricas. As tarifas são classificadas nas cores verde, amarela e vermelha, sendo que a bandeira vermelha se subdivide em dois patamares. O Quadro 5 ilustra como é realizada a correção da tarifa conforme a bandeira tarifária vigente.

Quadro 5 – Bandeiras tarifárias

Bandeira vigente	Condições	Custo
Verde	Hidrelétricas operam normalmente.	Não há alteração da tarifa de energia.
Amarela	Usinas térmicas ativadas.	Acréscimo de R\$ 1,00 a cada 100 kWh.
Vermelha Patamar 1	Usinas térmicas ativadas / alta demanda.	Acréscimo de R\$ 3,00 a cada 100 kWh.
Vermelha Patamar 2	Usinas térmicas ativadas / alta demanda.	Acréscimo de R\$ 5,00 a cada 100 kWh.

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Por exemplo, quando está vigente a bandeira verde, significa que não há nenhum acréscimo na cobrança de energia elétrica.

4.1.3 Dados dos ventos

Os dados relacionados aos ventos foram obtidos através do site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que disponibiliza os dados gratuitamente para que possam ser

elaboradas previsões do tempo, além de serem utilizados em aplicações na meteorologia, hidrologia e oceanografia. Os dados obtidos são referentes aos anos de 2014 e 2015 e foram coletados através de uma Estação Meteorológica Automática (EMA) que é um instrumento de coleta automática de informações ambientais locais e está localizada dentro da UFSM. A EMA coleta dados por meio de sensores para medição dos parâmetros meteorológicos observados. Estes dados são referentes a temperatura, umidade relativa do ar, ponto de orvalho, pressão atmosférica, velocidade e direção do vento, radiação solar e precipitação.

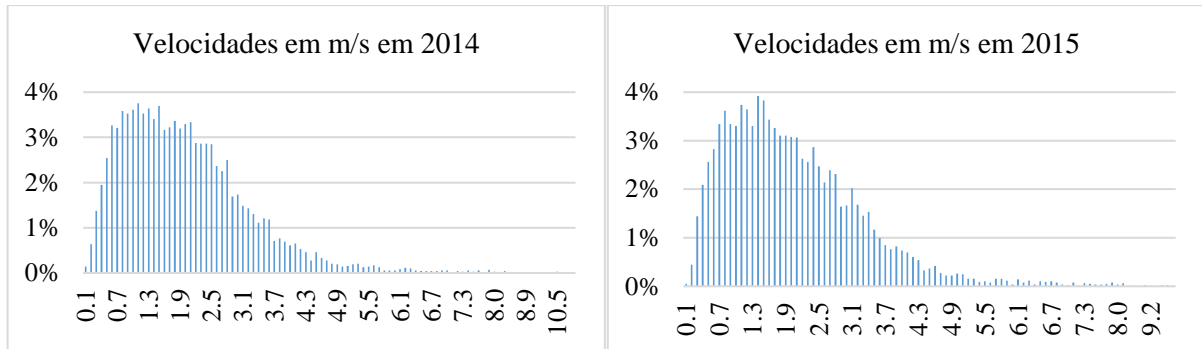
A EMA integraliza a cada hora os dados obtidos pelas medições que são feitas a cada minuto, sendo assim, em um dia são armazenados 24 conjuntos de dados no banco de dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Para o ano de 2014 foram obtidos, ao todo, 6923 dados acerca da velocidade, direção e rajadas dos ventos incidentes na UFSM. Originalmente eram esperados mais dados para esse ano, porém devido a falhas no próprio sistema, não foi possível atingir o número esperado. Essas falhas se referem, por exemplo, a panes no sistema por causa de quedas de raios ou danos na EMA. Da mesma forma para o ano de 2015, após serem retirados os dados avariados, obteve-se 7570 dados relativos aos ventos.

Segundo o Guia de Microgeradores Eólicos (INSTITUTO IDEAL, 2014), o desempenho de um gerador eólico de pequeno porte deve levar em consideração a regularidade dos ventos quanto à continuidade da direção. Assim, a partir dos dados obtidos foi possível verificar se os ventos incidentes na UFSM são contínuos ou não. Foi utilizada a rosa-dos-ventos e os dados coletados pela EMA, em graus, para a direção dos ventos.

Os dados foram classificados em relação à direção dos ventos, sendo possível verificar que os ventos são provenientes majoritariamente das regiões Leste e Sudeste, representando 33% e 24% respectivamente, no ano de 2014, bem como, 34% e 27% respectivamente, no ano de 2015. Sendo assim, assumindo que de maneira geral os ventos possuem este comportamento ao longo dos anos, é possível assumir que os ventos incidentes na UFSM apresentam um comportamento padronizado em relação à continuidade da direção.

Após realizar esta análise, foram estudadas as velocidades dos ventos para que fosse possível verificar se há algum microgerador eólico que atenda a disponibilidade dos ventos. Diante disso, os dados obtidos foram classificados em ordem numérica. Depois foi calculada a sua ocorrência através do cálculo de porcentagem. Então, novamente utilizando o Microsoft Excel, foram criados gráficos para representar as velocidades dos ventos, em m/s, dos anos de 2014 e 2015, conforme pode ser visualizado na Figura 1.

Figura 1 – Comportamento da velocidade dos ventos nos anos de 2014 e 2015



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

A partir dos gráficos foi possível obter a faixa de velocidades onde se encontram aproximadamente 80% dos ventos incidentes, sendo que esta varia entre 0,1 m/s e 2,9 m/s nos dois anos observados. Além disso, a velocidade média dos ventos para 2014 e 2015 é de 2,0 m/s e 2,05 m/s, respectivamente.

4.1.4 Dados das taxas de juros e de inflação

Como definido previamente, para a realização deste estudo foi adotado o rendimento médio mensal da poupança dos últimos seis anos na variação 51 como Taxa Mínima de Atratividade (TMA), tendo como base para a coleta de dados a Calculadora do Cidadão (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2018). Foi adotado este período de tempo devido ao fato de não ser mais possível realizar depósitos em outra variação da poupança, visto que a variação 51 foi implementada em 4 de maio de 2012 conforme a Lei N° 12.703 (BRASIL, 2012). A Tabela 1 mostra os valores referentes ao período. O rendimento total da poupança no período de 2012 a 2017 foi de 49,31%. Utilizando a fórmula da Taxa de Juros Equivalente, tem-se que o rendimento médio mensal é de 0,55830%.

Tabela 1 – Rendimento anual da poupança

Ano	2017	2016	2015	2014	2013	2012
Rendimento da poupança (ao ano)	5,78%	8,17%	8,34%	7,26%	6,46%	5,47%

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Para a inflação, foi coletada a taxa média anual de um período de 10 anos, tendo como referência o Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPC-A) calculado pelo IBGE. Para a coleta desses dados também foi utilizada a Calculadora do Cidadão (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2018). Os valores obtidos deste período podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 – Histórico da inflação pelo IPC-A

Ano	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008
Inflação pelo IPC-A (ao ano)	2,95%	6,29%	10,67%	6,41%	5,91%	5,84%	6,50%	5,91%	4,31%	5,90%

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

No período analisado, é possível calcular uma inflação total de 80,51%. A partir do cálculo pela equação da Taxa de Juros Equivalente, obtém-se uma média anual de 5,746%.

4.1.5 Dados e análise técnica dos microgeradores

Nesta seção serão analisados quanto às especificações técnicas os modelos de microgeradores eólicos. A partir dos dados sobre os ventos incidentes na UFSM e com base em pesquisas em sites de empresas comerciantes de microgeradores eólicos, foram encontrados cinco modelos que se adequam às velocidades dos ventos. Quatro destes modelos são comercializados por empresas brasileiras e um destes por uma empresa portuguesa. Os cinco modelos encontrados possuem diferentes velocidades iniciais para produção de energia elétrica, variando de 2,5 m/s a 3,13 m/s. Somente um dos microgeradores possui um rotor H-Darrieus, ou seja, é um aerogerador com rotor em eixo vertical e pás verticais posicionadas em paralelo. Os outros modelos são os tradicionais rotores horizontais, o que significa que são microgeradores com o rotor em eixo horizontal e que possuem três pás para captação da energia do vento.

Delimitou-se este trabalho em analisar dois modelos de microgeradores eólicos. O primeiro microgerador avaliado foi da empresa Energia Pura. O modelo analisado foi um aerogerador com o rotor em eixo horizontal que possui três pás. Este modelo é considerado o mais eficiente entre todos os tipos de microgeradores eólicos quando opera em condições de vento sem muitas mudanças de direção. O microgerador é o modelo Air Silent X. Este possui operação silenciosa, um microprocessador regulador interno inteligente para controle da turbina e é projetado para uma vida útil superior a 20 anos, com garantia de 5 anos. Além disso, segundo a empresa, este modelo é livre de manutenções, tanto corretivas como preventivas. À pronta entrega, a empresa tem disponíveis modelos nas tensões 12V e 48V, capazes de produzir até 90 ampère-hora por dia (Ah/dia), quando incidentes ventos de 5,5 m/s. Isso equivale a aproximadamente 4,32 kWh/dia, acarretando na geração de 129,6 kWh ao mês com o modelo de tensão de 48V.

Sabe-se que ao escolher um microgerador, deve-se prestar atenção em três principais pontos: qual a velocidade mínima de vento para o funcionamento do microgerador eólico,

qual a velocidade de vento em que o microgerador eólico alcança a potência nominal e, qual a velocidade máxima de vento na qual o microgerador desliga. No caso deste primeiro modelo, a velocidade para que o microgerador comece a gerar energia é de 3,13 m/s e o vento limite é de 49,20 m/s, o que equivale a 177 km/h. Já a potência nominal é alcançada na velocidade de 12,5 m/s. Não foi possível obter, através da Energia Pura, os valores de geração de energia mensal levando em consideração a relação da velocidade média do vento e a energia gerada.

O segundo microgerador analisado é a turbina TE-20 produzida pela Globaltek Energias Renováveis. Este modelo, diferentemente do anterior, é um aerogerador com rotor em eixo vertical e pás verticais posicionadas em paralelo. Este modelo é conhecido por ser muito silencioso, tanto que a turbina possui certificação alemã de operação de baixo ruído (33 dBA). Este microgerador possui baixa manutenção, pois não possui peças de desgaste. Possui garantia de dois anos. Seu funcionamento se dá independente da direção do vento, o que é considerado necessário em áreas com ventos turbulentos.

Quanto às velocidades envolvidas no seu funcionamento, o microgerador possui uma velocidade de corte de 1,5 m/s e começa a produzir energia a partir de ventos de 2,5 m/s. A velocidade máxima suportada pela TE-20 é de 50 m/s, ou seja, 180 km/h. A velocidade necessária para atingir a potência nominal não foi fornecida pela empresa. Este microgerador utiliza uma tensão de 48V. No Quadro 6 estão os valores de geração de energia.

Quadro 6 – Geração de energia pela TE-20

Velocidade média do vento (m/s)	Energia gerada por mês (kWh)	Velocidade média do vento (m/s)	Energia gerada por mês (kWh)
2	10 – 25	6	400 – 710
3	25 – 90	7	640 – 1100
4	85 – 220	8	960 – 1550
5	201 – 420	9	1320 – 2060

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

A partir da comparação das especificações técnicas dos dois microgeradores é possível verificar que o modelo da Globaltek se encaixa melhor nas condições dos ventos da UFSM, já que a velocidade necessária para o início da geração de energia elétrica é menor. Ademais, ao comparar a energia gerada pelos dois microgeradores na mesma velocidade de vento, percebe-se que o modelo fornecido pela Globaltek possui maior capacidade de geração. Já que para gerar aproximadamente 130 kWh por mês, o Air Silent X necessita de ventos com velocidade média de 5,5 m/s, enquanto que a TE-20 necessita de ventos com velocidade média de 4 m/s.

Uma delimitação importante feita aqui nesta etapa da pesquisa foi assumir que a velocidade média dos ventos na UFSM é de 5,5 m/s, situação que não reflete a realidade. Esta delimitação foi necessária para dar prosseguimento ao trabalho. De fato, considerando os

dados técnicos dos ventos, aparentemente ambos os microgeradores são tecnicamente pouco atrativos para a UFSM. Esta questão técnica será retomada na subseção de discussão dos resultados, na sequência deste texto. Então, considerando os dois microgeradores gerando energia elétrica a 5,5 m/s, são necessários 5 microgeradores Air Silent X, bem como 2 microgeradores TE-20 para atender a demanda energética da reitoria da UFSM.

4.1.6 Dados e análise financeira dos microgeradores

Para se obter os dados acerca dos custos dos equipamentos, entrou-se em contato com as empresas que comercializam os microgeradores eólicos. No entanto, apenas uma das empresas deu o retorno esperado, sendo esta a empresa comerciante do modelo Air Silent X.

De fato, ao analisar as especificações técnicas dos microgeradores, o equipamento que melhor se adequou às condições de vento de Santa Maria foi o modelo distribuído pela Globaltek Energias Renováveis. Porém ao contatar a empresa, recebeu-se a informação de que usualmente esta organização apenas aluga seus produtos para feiras, exposições e outros eventos, sendo que para a venda deve ser estruturado um projeto detalhado. Sendo assim, devido à escassez de tempo, optou-se por estimar os custos do microgerador da Globaltek.

O Quadro 7 apresenta os dados financeiros relacionados aos microgeradores em estudo. Para realizar as estimativas foram utilizados como base de cálculo os dados relativos aos custos obtidos do microgerador Air Silent X. Para isso foram criadas três situações onde na primeira situação a Turbina TE-20 da Globaltek custaria o equivalente ao Air Silent X. Já na segunda situação a Turbina TE-20 custaria duas vezes mais que o Air Silent X. Por fim, na terceira situação a Turbina TE-20 custaria três vezes mais que o microgerador Air Silent X.

Quadro 7 – Dados financeiros sobre os microgeradores

Modelo de microgerador	Método de obtenção dos custos de compra por microgerador	Custos de compra por microgerador (R\$)	Custos de manutenção ao ano por microgerador (R\$)
Air Silent X	Valor coletado com a empresa	6.000,00	180,00
TE-20 (1x)	Valor estimado em 1x o Air Silent X	6.000,00	180,00
TE-20 (2x)	Valor estimado em 2x o Air Silent X	12.000,00	360,00
TE-20 (3x)	Valor estimado em 3x o Air Silent X	18.000,00	540,00

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

No mesmo quadro, em relação aos custos de manutenção, apesar de a empresa Energia Pura afirmar que seu microgerador Air Silent X não necessita de manutenção, decidiu-se considerar o proposto por Tsaknias (2010), que afirma que o valor da manutenção equivale a cerca de 3% ao ano do valor do investimento inicial. Similarmente, foram estimados os valores dos custos de manutenção previstos para o microgerador da Globaltek.

4.2 RESULTADOS DA VIABILIDADE ECONÔMICA CONSIDERANDO VENTOS

IDEAIS

Inicialmente foram elaborados os cenários de cálculo para posteriormente analisar a viabilidade econômica de cada microgerador considerando ventos constantes e ideais de 5,5 m/s. Além disso, foram considerados os custos obtidos com a empresa Energia Pura e a criação das três situações acerca dos custos do microgerador da Globaltek Energia Renováveis resultando, ao final, em 16 cenários gerados. Estes cenários levaram em consideração a relação entre as quatro possibilidades de investimentos iniciais nos microgeradores e as quatro bandeiras tarifárias, conforme apresentado no Quadro 8.

Quadro 8 – Apresentação dos cenários de cálculo para ventos ideais

Modelo de microgerador	Bandeira Verde	Bandeira Amarela	Bandeira Vermelha 1	Bandeira Vermelha 2
Air Silent X	Cenário 1	Cenário 5	Cenário 9	Cenário 13
TE-20 (1x)	Cenário 2	Cenário 6	Cenário 10	Cenário 14
TE-20 (2x)	Cenário 3	Cenário 7	Cenário 11	Cenário 15
TE-20 (3x)	Cenário 4	Cenário 8	Cenário 12	Cenário 16

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Foram utilizados dados de rendimentos mensais, bem como, dados sobre valores de compra e de manutenção dos microgeradores. Para calcular a receita gerada pelos equipamentos, realizou-se a multiplicação da energia gerada mensalmente pela tarifa de energia elétrica acrescida do custo tarifário da bandeira vigente no período, bem como, dos impostos incidentes.

Os custos de manutenção são corrigidos anualmente, tendo como taxa de correção a inflação média anual, conforme apresentado na Tabela 2. A tarifa de energia também sofreu correção anual por meio do mesmo índice de inflação. Tendo esses valores definidos, foi possível realizar os cálculos de viabilidade econômica para cada um dos cenários. Os cenários serão apresentados de acordo com a bandeira tarifária para que assim, seja mais fácil a compreensão e comparação dos cenários. O horizonte de análise foi de 240 meses, de acordo com a vida útil dos microgeradores. Na Tabela 3 estão apresentados o Payback Simples, o Payback Descontado, a TIR e o VPL para os 16 cenários. Já as planilhas dos cálculos estão parcialmente apresentadas no Apêndice A, que exemplifica o modo como foram calculados todos os cenários.

Tabela 3 – Resultados relacionados aos cenários

Cenário	Payback Simples (meses)	Payback Descontado (meses)	TIR (% ao mês)	VPL (R\$)
1	79	101	1,40	36.902,28
2	33	37	3,32	60.603,83
3	66	80	1,71	42.522,05
4	100	136	1,07	24.440,27
5	78	98	1,44	38.663,47
6	32	35	3,39	62.291,64
7	65	78	1,74	44.209,86
8	99	130	1,10	26.128,08
9	75	92	1,51	42.185,85
10	31	34	3,52	65.667,26
11	63	75	1,81	47.585,48
12	93	125	1,16	29.503,70
13	75	92	1,57	45.708,23
14	31	34	3,66	69.042,87
15	63	75	1,89	50.961,09
16	93	125	1,16	29.503,70

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Conforme os valores positivos obtidos para o VPL, todos os 16 cenários são considerados economicamente viáveis. O cenário 14 se mostrou o de maior retorno econômico dentre os cenários simulados. Isso em decorrência de apresentar os maiores valores de VPL e TIR dentre os cenários. Além disso, o cenário 14 apresenta 31 e 34 meses como valores para o Payback e para o Payback Descontado, respectivamente.

4.3 RESULTADOS DA VIABILIDADE ECONÔMICA CONSIDERANDO VENTOS REAIS

Para simular os 16 cenários, assumiu-se que as velocidades dos ventos incidentes na reitoria são constantes e igual a 5,5 m/s. Adotou-se esta velocidade porque não foi disponibilizada pela empresa Energia Pura a relação entre as velocidades dos ventos e as energias geradas para cada faixa de velocidade de vento. No entanto, ao observar a Figura 1, percebe-se que há pouca incidência de ventos a 5,5 m/s em Santa Maria. Então, para contornar esta questão e tornar os cenários reais, simularam-se outros quatro cenários utilizando somente o microgerador TE-20 (1x), levando em consideração as quatro bandeiras tarifárias. Os novos cenários simulados são apresentados no Quadro 9.

Quadro 9 – Apresentação dos cenários de cálculo para ventos reais

Modelo de microgerador	Bandeira Verde	Bandeira Amarela	Bandeira Vermelha 1	Bandeira Vermelha 2
TE-20	Cenário 17	Cenário 18	Cenário 19	Cenário 20

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Para isso, foram definidas faixas de velocidades médias dos ventos e, a partir dos dados disponibilizados pelo INMET do ano de 2015, foi possível calcular a porcentagem dos ventos que incide na reitoria em cada faixa de velocidade. Também, definiu-se a energia gerada mensalmente a partir dos dados do Quadro 6. Com base na porcentagem dos ventos incidentes, foi possível calcular qual a incidência real de ventos na UFSM, conforme o Quadro 10. Obteve-se como resultado que em apenas 31,39% do tempo o microgerador TE-20 estaria funcionando e efetivamente gerando energia. E neste contexto, seriam necessários 21 microgeradores do modelo TE-20 para atender a demanda da reitoria da UFSM.

Quadro 10 – Faixas de velocidade dos ventos e respectiva energia elétrica gerada

Velocidade dos ventos (m/s)	Ventos incidentes (%)	Energia gerada (kWh)	Velocidade dos ventos (m/s)	Ventos incidentes (%)	Energia gerada (kWh)
2,5 – 3,4	19,30	25	6,5 – 7,4	0,66	710
3,5 – 4,4	7,50	90	7,5 – 8,4	0,33	1100
4,5 – 5,4	2,44	220	8,5 – 9,4	0,11	1550
5,5 – 6,4	1,04	420	-	-	-

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Depois, considerando-se os 21 microgeradores do modelo TE-20 necessários para atender à demanda, procedeu-se com os cálculos dos quatro novos cenários (17, 18, 19 e 20) em relação ao VPL, TIR, Payback Simples e Payback Descontado. Os valores encontrados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados relacionados aos cenários

Cenário	Payback Simples (em meses)	Payback Descontado (em meses)	TIR (ao mês)	VPL (ao mês)
17	-	-	-4,38%	- R\$ 105.715,29
18	-	-	-4,38%	- R\$ 105.706,80
19	-	-	-5,60%	- R\$ 100.117,86
20	-	-	%	- R\$ 96.386,24

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Nesta simulação, ao analisar os dados obtidos, percebe-se que os quatro novos cenários são inviáveis economicamente, uma vez que tanto a TIR quanto o VPL resultaram negativos. O VPL no melhor cenário (20) ficou em R\$ -97.647,47 e no pior cenário (17) ficou em R\$ -106.579,20. Isso se deve ao fato de que o retorno obtido com a instalação dos microgeradores não cobre os gastos despendidos com a aquisição e posterior manutenção dos mesmos.

4.4 RESULTADOS DO MÉTODO LCOE

Como já definido anteriormente, o método LCOE vem sendo empregado como uma forma de precificação do investimento, que consiste na avaliação do custo por kWh para construção e operação de uma planta de geração de energia elétrica. Para o cálculo do LCOE, primeiramente é necessário obter o valor do fator de recuperação de capital (CRF), conforme definido na Equação 3. Para o cálculo do CRF, empregou-se a taxa média de rendimento da poupança (0,5583% a.m.) e o período de vida útil dos microgeradores definidos pelas empresas como sendo de 20 anos. Com isso foi possível obter o valor de 0,00757367 para o CRF. Este valor foi utilizado para todos os cenários, uma vez que a vida útil é igual para os dois modelos de microgeradores, bem como a taxa de juros baseada no rendimento da poupança. As variáveis utilizadas para o cálculo do LCOE juntamente com os resultados obtidos para cada caso dos microgeradores podem ser observadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Cálculo do LCOE

Modelo de microgerador	Potência efetiva (kWh)	Custos de compra total dos microgeradores (R\$)	Custos de manutenção total dos microgeradores (R\$)	LCOE (R\$/kWh)
Air Silent X	648	30.000,00	32.215,52	0,2086
TE-20 (1x)	621	12.000,00	12.886,21	0,0871
TE-20 (2x)	621	24.000,00	25.772,41	0,1741
TE-20 (3x)	621	36.000,00	38.658,62	0,2612
TE-20	657	126.000,00	135.305,18	0,8517

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Ao observar a Tabela 5, nota-se que os valores de LCOE seguem a mesma tendência dos valores da viabilidade econômica, visto que o microgerador modelo TE-20 (1x) se apresenta mais atrativo economicamente, pois tem um custo por kWh gerado de R\$ 0,0871. Como esperado, a turbina TE-20 apresenta um valor consideravelmente mais elevado se comparado com os outros modelos, R\$ 0,8517 por kWh gerado, sendo 89,77% maior que o modelo mais atrativo.

4.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

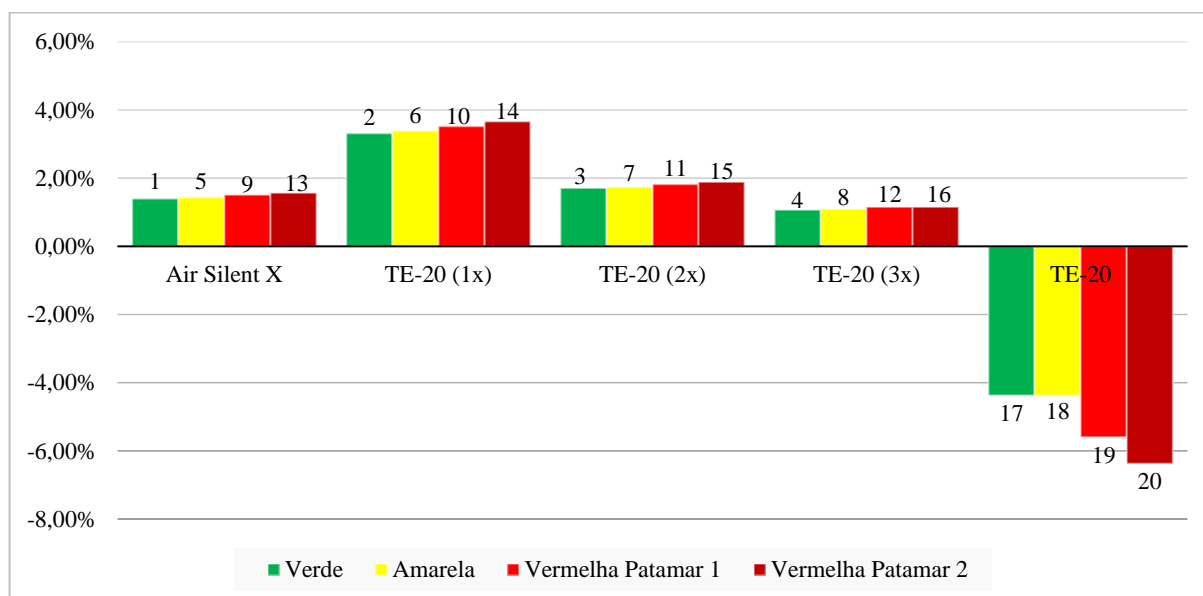
A partir da análise dos resultados previamente apresentados, pode-se afirmar que os 16 cenários simulados considerando ventos ideais são viáveis economicamente, visto que todos eles apresentaram um VPL positivo e uma TIR maior que a TMA estipulada. Já os 4 cenários simulados posteriormente, os quais levam em consideração ventos reais, se mostraram

economicamente inviáveis. Para melhor ilustrar isto, foi elaborado um gráfico, apresentado na Figura 2, que retrata os valores encontrados para a TIR.

Pode-se observar que o modelo TE-20 (1x) apresenta a maior TIR se comparado ao Air Silent X. Isto se deve ao fato de que, mesmo tendo custo igual ao Air Silent X, são necessários apenas dois microgeradores do primeiro modelo para atender a demanda da reitoria, enquanto que para o segundo modelo são necessários cinco microgeradores eólicos.

Ao comparar o Air Silent X com as outras duas situações criadas para o modelo TE-20, percebe-se que apenas quando a TE-20 tiver um custo três vezes maior é mais atrativo adquirir um microgerador Air Silent X, já que neste caso o Air Silent apresenta uma TIR um pouco mais elevada. Já no caso da TE-20 com ventos reais, comparado com os outros microgeradores, em nenhuma situação o mesmo se mostra mais atrativo.

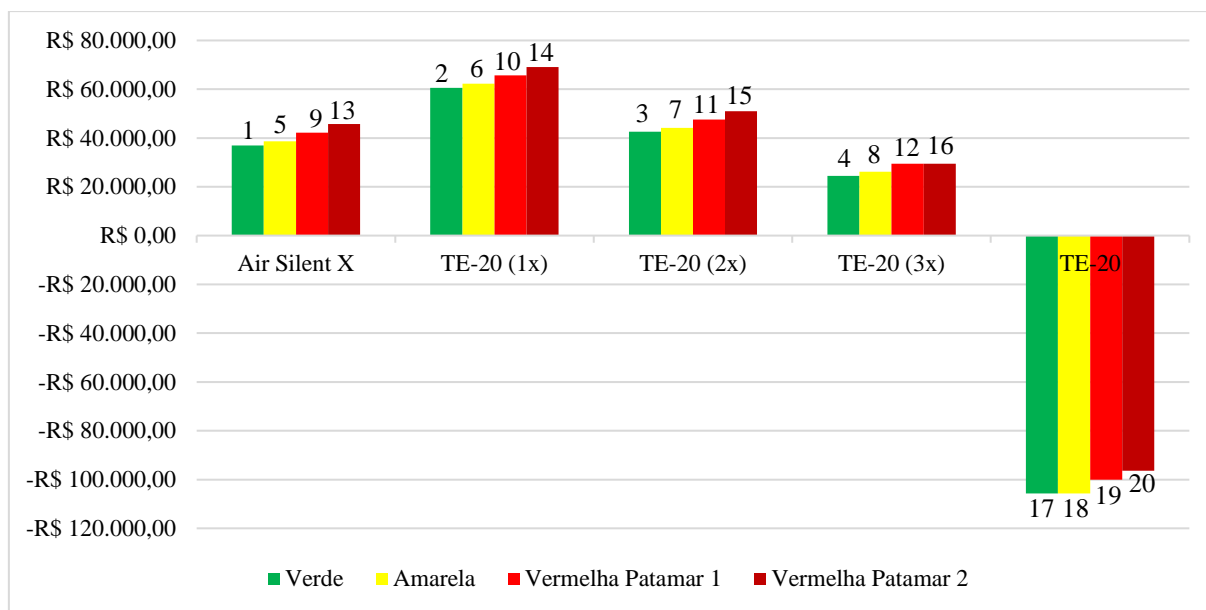
Figura 2 – TIR por equipamento e bandeira tarifária (com o número de cada cenário)



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Ademais, para ventos ideais, o gráfico apresenta um padrão de crescimento devido ao acréscimo das bandeiras tarifárias, resultado este já esperado, pois quanto maior o valor da tarifa a ser pago, mais viável o cenário. Isto porque a UFSM deixaria de pagar as tarifas para a concessionária ao gerar a energia elétrica internamente. Similarmente, com o intuito de saber se há alguma relação entre o VPL e o custo unitário por kWh gerado (LCOE), realizou-se a comparação entre os dados, conforme os resultados apresentados na Figura 3.

Figura 3 – Relação entre o VPL e o LCOE (com o número de cada cenário)



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Observando a Figura 3, nota-se a relação direta entre o VPL e as bandeiras tarifárias. Os cenários 1, 5, 9 e 13 obtiveram em média um VPL 34,61% maior que os cenários simulados da turbina TE-20 (3x) e em média 57,64% e 13,36% menores que os cenários simulados para o TE-20 (1x) e o TE-20 (2x), respectivamente. Por outro lado, é possível observar que a relação entre o VPL e o LCOE é inversamente proporcional, pois a medida que o VPL aumenta o LCOE decresce.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho de conclusão de curso teve como objetivo principal realizar um estudo de viabilidade econômica envolvendo a utilização de microgeradores eólicos para a geração de energia elétrica na reitoria da Universidade Federal de Santa Maria. Para tal, foram utilizados os métodos de análise econômica VPL, TIR, Payback Simples e Payback Descontado, além da métrica do custo de geração de energia elétrica (LCOE). Foram simulados e avaliados dezesseis cenários considerando ventos ideais e quatro cenários, considerando ventos reais. Estes cenários são baseados no custo de aquisição dos microgeradores eólicos escolhidos e as quatro bandeiras tarifárias. Tendo como base o consumo energético do edifício da reitoria, foram dimensionados os sistemas de microgeradores. Como resultado obteve-se que são necessários 5 microgeradores Air Silent X

ou 2 microgeradores TE-20 para atender a demanda proposta, contudo considerando uma velocidade de vento ideal e constante de 5,5 metros por segundo.

A partir da análise dos resultados obtidos nas simulações dos cenários com ventos ideais, concluiu-se que os cenários 2, 6, 10 e 14 possuem maior eficiência econômica em comparação aos cenários simulados do Air Silent X. Os cenários 4, 8, 12 e 16 são os que apresentam menor atratividade de investimento, visto que entre todos os cenários simulados são os que apresentam o menor VPL, fato esse explicado pela necessidade de maior investimento inicial para a aquisição dos microgeradores e, também, explicado pelo alto custo de manutenção requerido pelos equipamentos. Também é possível comprovar que quanto maior o custo do kWh da concessionária de energia elétrica, melhor será para o cliente. Isto se corrobora ao observar o VPL nos cenários simulados, sendo que quanto maior a tarifa cobrada, maior o retorno econômico do investimento.

Cabe ressaltar que as simulações dos cenários ocorreram considerando-se velocidades ideais de ventos. No entanto, de modo a tornar as análises mais reais, foram realizadas quatro novas simulações, baseando-se nos dados dos ventos dentro da UFSM. Essas novas simulações, apesar de serem tecnicamente viáveis, se mostraram inviáveis economicamente, sendo que os quatro novos cenários construídos possuem TIR e VPL negativos. No entanto, como o estudo técnico da instalação de microgeradores não é o foco desta pesquisa, o cenário da aplicação deste estudo foi mantido. Isto é, talvez o ideal tivesse sido encontrar um cenário que não fosse a UFSM para aplicar esta pesquisa, um cenário onde os ventos tivessem de fato uma velocidade média de 5,5 metros por segundo ao longo do ano. Mas em última análise, este trabalho colabora ao mostrar que há viabilidade econômica de investimento em microgeradores eólicos desde que se tenha a disponibilidade de ventos dentro das faixas ideais de operação dos equipamentos. E por último, pode-se concluir que não há viabilidade econômica em investir em microgeradores eólicos para a geração de energia elétrica para a reitoria da UFSM.

De todo modo, o objetivo inicialmente proposto por este trabalho foi cumprido, mostrando que utilizar microgeradores eólicos para gerar energia elétrica para a reitoria da Universidade Federal de Santa Maria é economicamente inviável. Por último, vale ressaltar que as limitações encontradas por esta pesquisa, como a dificuldade na obtenção de dados acerca da capacidade de geração de energia elétrica dos microgeradores, podem ser vistas como oportunidades para futuros estudos. Isto porque que cada vez mais são utilizadas fontes de energias renováveis para geração de energia elétrica.

REFERÊNCIAS

- ABREU, M. C. S. et al. Fatores determinantes para o avanço da energia eólica no estado do Ceará frente aos desafios das mudanças climáticas. **REAd. Rev. eletrôn. adm. (Porto Alegre)**, Porto Alegre, v. 20, n. 2, p. 274-304, ago. 2014.
- ALBADI, M. H.; EL-SAADANY, E. F. **Wind power in Ontario: an economical valuation**. In: IEEE Canada Electrical Power Conference, 2007. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4520382/>>. Acesso em: 7 abr. 2018.
- ALSEMA, E. A.; NIEUWLAAR, E. Energy viability of photovoltaic systems. **Energy Policy**, v. 28, p. 999-1010, 2000.
- ALVES, J. E. D. O crescimento da energia eólica no mundo em 2017. In: **Ecodebate**, [S.l.] 19 fev. 2018. Disponível em: <<https://www.ecodebate.com.br/2018/02/19/o-crescimento-da-energia-eolica-no-mundo-em-2017-artigo-de-jose-eustaquio-diniz-alves/>>. Acesso em: 19 maio 2018.
- ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 547/13**. Brasília, 2013.
- _____. **Grupo A**. Brasília, 2018. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/home?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fhome%3Fp_auth%3DfeIqMFUE%26p_p_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D1%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_state_rcv%3D1&_101_assetEntryId=15049523&_101_type=content&_101_groupId=656835&_101_urlTitle=grupo-a&inheritRedirect=true>. Acesso em: 09 out. 2018.
- AQUILA, G. et al. Wind power feasibility analysis under uncertainty in the Brazilian electricity market. **Energy Economics**, v. 65, p. 127-136, 2017.
- AYOMPE, L. M. et al. Projected costs of a grid-connected domestic PV system under different scenarios in Ireland, using measured data from a trial installation. **Energy Policy**, v. 38, p. 3731-3743, 2010.
- AZEVEDO, J. P. M.; NASCIMENTO, R. S.; SCHRAM, I. B. Energia eólica e os impactos ambientais: um estudo de revisão. **Revista Uningá**, v. 51, p. 101-106, 2017.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Calculadora do Cidadão**. 2018. Disponível em: <<https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADA0/publico/exibirFormCorrecaoValores.do?method=exibirFormCorrecaoValores>>. Acesso em: 23 abr. 2018.
- BANCO DE INFORMAÇÕES DE GERAÇÃO ANEEL. **BIG – Banco de informações de Geração do Brasil**. Brasília, 2018. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 18/06/2018.
- BLACKLER, T.; IQBAL, M. T. Pre-feasibility study of wind power generation in Holyrood, Newfoundland. **Renewable Energy**, v. 31, p. 489-502, 2005.

BLANK, L. T.; TARQUIN, A. **Engineering economy**. 6. ed. New York: McGraw-Hill, 2008.

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

BUSTOS, F.; TOLEDO, A.; FUENTES, A. Sensitivity analysis of a photovoltaic solar plant in Chile. **Renewable Energy**, v. 87, p. 145-153, 2016.

CASAROTTO FILHO, N.; KOPITTKE, B. H. **Análise de investimentos**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

CEARÁ. **Atração de investimentos no estado do Ceará**: mapa territorial de parques eólicos. Fortaleza: CEDE/ADECE, 2001, 74p.

CEEE. COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Custos e tarifas**. 2016.

Disponível em: <

<http://www.cee.com.br/pportal/cee/Component/Controller.aspx?CC=1782>>. Acesso em: 09 out. 2018.

COSTA, G. B.; LYRA, R. F. F. Análise dos padrões de vento no estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, p. 31-38, 2012.

DAS, S. et al. Life cycle economic analysis of stand-alone solar pv system in India – a relative study. **World Journal of Engineering**, v. 12, p. 37-44, 2015.

DASSI, J. A. et al. Análise de viabilidade econômico-financeira da energia solar fotovoltaica em uma Instituição de Ensino Superior do Sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 24., 2017, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** Florianópolis, 2017. Disponível em: < <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/3924>>. Acesso em: 17 abr. 2018.

DICIONÁRIO FINANCEIRO. **O que é depreciação na contabilidade?**. Disponível em: < <https://www.dicionariofinanceiro.com/depreciacao/>>. Acesso em: 23 abr. 2018.

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

FERRARI, A. T. **Metodologia da Ciência**. 2. ed. Rio de Janeiro: Kennedy Ltda, 1974.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GOMES, J. **Elaboração e análise de viabilidade econômica de projetos**: tópicos práticos de finanças para gestores não financeiros. São Paulo: Atlas, 2013.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. **Global Wind Report 2017**. Bruxelas, 2017.

Disponível em: < <http://gwec.net/cost-competitiveness-puts-wind-in-front/>> . Acesso em: 19 maio 2018.

GRANT, E.L.; IRESON, W.G. **Principles of Engineering Economy**. 5th ed. New York: Ronald Press Company, 1970.

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.

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

HOLDERMANN, C.; KISSEL, J.; BEIGEL, J. Distributed photovoltaic generation in Brazil: An economic viability analysis of small-scale photovoltaic systems in the residential and commercial sectors. **Energy Policy**, v. 67, p. 612 – 617, 2014.

IBRAHIM, M. Z.; ALBANI, A. Wind turbine rank method for a wind park scenario. **World Journal of Engineering**, v. 13, p. 500-508, 2016.

JABBER, S. Environmental Impacts of Wind Energy. **Journal of Clean Energy Technologies**, v. 1, n. 3, p. 251 – 254, 2013.

KALDELLIS, J. K.; GAVRAS, T. J. The economic viability of comercial wind plants in Greece: a complete sensivity analysis. **Energy Policy**, v. 28, p. 509-517, 2000.

KUMAR, A., NAIR, K. Wind characteristics and energy potenciales at Wainiyaku Taveuni, Fiji. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, v. 23, n. 3, p.300-308, 2012.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS. **Censo Demográfico**. 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/santa-maria/panorama>>. Acesso em: 22 abr. 2018.

INSTITUTO IDEAL. **Como faço para ter energia eólica em minha casa - Guia de microgeradores eólicos**. 2014. Disponível em < <http://institutoideal.org/guiaeolica/>>. Acesso em: 29 set. 2018.

LEE, J. et al. Economic feasibility of campus-wide photovoltaic systems in New England. **Renewable Energy**, v. 99, p. 452-464, 2016.

LEVITT, A. C. et al. Pricing offshore wind power. **Energy Policy**, v. 39, n. 10, p. 6408-6421, 2011.

MACEDO, C. A. A.; ALBUQUERQUE, A. A.; MORALLES, H. F. Análise de viabilidade econômico-financeira de um projeto eólico com simulação de Monte Carlo e avaliação de risco. **Gestão e Produção**, São Carlos, v. 24, n. 4, p. 731-744, 2017.

MARTINS, F.R.; GUARNIERI, R.A.; PEREIRA, E.B. O aproveitamento da energia eólica. **Rev. Bras. Ensino Fís.**, São Paulo, v. 30, n. 1, p. 1304.1-1304.13, 2008.

MARTINS, R. A.; MELLO, C. H. P.; TURRIONI, J. B. **Guia de elaboração de monografia e TCC em engenharia de produção**. São Paulo: Atlas, 2014.

MELO, M. S. M. **Energia eólica: aspectos técnicos e econômicos**. 157 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2012.

MIGUEL, P. (Org.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2012.

MITSCHER, M.; RÜTHER, R. Economic performance and policies for grid-connected residential solar photovoltaic systems in Brazil. **Energy Policy**, v. 49, p. 688 – 694, 2012.

MONDAL, A. H.; ISLAM, S. Potencial and viability of grid-connected solar PV system in Bangladesh. **Renewable System**, v. 36, p. 1869-1874, 2011.

NASCIMENTO, L. Brasil é o oitavo país do mundo em produção de energia eólica. In: **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>>. Acesso em: 19 maio 2018.

NEWNAN, D.; LAVELLE, J. **Fundamentos de Engenharia Econômica**. 1 ed. Rio de Janeiro: JC, 2000.

NGALA, G. M.; ALKALI, B.; AJI, M. A. Viability of wind energy as a power generation source in Maiduguri, Borno state, Nigeria. **Renewable Energy**, v. 32, p. 2242-2246, 2007.

NGAN, M. S.; TAN, C. W. Assesment of economic viability for PV/wind/diesel hybrid energy system in southern Peninsular Malaysia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, p. 634-647, 2012.

NYAMDASH, B.; DENNY, E.; O'MALLEY M. The viability of balancing wind generation with large scale energy. **Energy Policy**, v. 38, p. 7200-7208, 2010.

ODEH, I.; YOHANIS, Y. G.; NORTON, B. Economic viability of photovoltaic water pumping systems. **Solar Energy**, v. 80, p 850-860, 2006.

PAWEL, I. The Cost of Storage – How to Calculate the Levelized Cost of Stored Energy (LCOE) and Applications to Renewable Energy Generation. **Energy Procedia**, v. 46, p. 68-77, 2014.

PINTO, L. I. C.; MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B. O mercado brasileiro da energia eólica, impactos sociais e ambientais. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v. 12, n. 6, p. 1082-1100, 2017.

RAMADHAM, M.; NASEEB, A. The cost benefit analysis of implementing photovoltaic solar system in the state of Kuwait. **Renewable Energy**, v. 36, n. 4, p. 1272 – 1276, 2011.

RAMPINELLI, G. A.; ROSA JÚNIOR, C. G. Análise da geração eólica na matriz brasileira de energia elétrica. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 14, n. 2, p. 273-302, 2012.

REBELATTO, D. A. N. **Projeto de Investimento**. 1. ed. São Paulo: Editora Manole, 2004.

REN, H.; GAO, W.; RUAN, Y. Economic optimization and sensitivity analysis of photovoltaic system in residential buildings. **Renewable Energy**, v. 34, n. 3, p. 883-889, 2009.

RGE Sul. **Informações Gerais Sobre a RGE Sul**. CPFL Energia, 2017. Disponível em: <<https://www.rgesul.com.br/institucional/quem-somos/a-rge/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 22 abr. 2018.

_____. **Bandeiras tarifárias**. 2018. Disponível em: <<https://www.rgesul.com.br/atendimento-a-consumidores/bandeira-tarifaria/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 22 out. 2018.

ROCHA, L. C. S. et al. A stochastic economic viability analysis of residential wind power generation in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 90, p. 412-419, 2018.

RODRIGUES, R. V.; ROSSI, L. A. Performance of small wind turbines: simulation of electricity supply to loads connected to the public or isolated grids. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, v. 36; n. 2, p. 281-290, 2016.

ROSS, S. et al. **Corporate Finance**. 10. ed. New York: The McGraw-Hill, 2015.

SAIDUR, R.; RAHIM, N. A.; ISLAM, M. R.; SOLANGI, K. H. Environmental impact of wind energy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, p. 2423–2430, 2011.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M. P. B. **Metodologia de Pesquisa**. 5. ed. Porto Alegre: Editora Pensa, 2013.

SANTOS, M. J. et al. Scenarios for the future Brazilian power sector based on a multicriteria assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 167, p. 938-950, 2017.

SCHMIDT, J. et al. An optimal mix of Schmidt PV, wind and hydro power for a low-carbon electricity supply in Brazil. **Renewable Energy**, v. 85, p. 137-147, 2016.

SIMAS, M.; PACCA, S. Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 27, n. 77, p. 99-116, 2013.

SIQUEIRA, H. M.; SOUZA, P. M.; PONCIANO, N. J. Café convencional versus café orgânico: perspectivas de sustentabilidade socioeconômica dos agricultores familiares do Espírito Santo. **Rev. Ceres (Impr.)**, Viçosa, v. 58, n. 2, p. 155-160, 2011.

SNYDER, B.; KAISER, M.J. Ecological and economic cost-benefit analysis of offshore wind energy. **Renewable Energy**, v. 34, p. 1567-1578, 2009.

STENTOFT, J.; NARASIMHAN, R.; POULSEN, T. Reducing cost of energy in the offshore wind energy industry: the promise and potential of supply chain management. **International Journal of Energy Sector Management**, v.10, p. 151-171, 2016.

TSAKNIAS, D. **Cost benefit analysis of the installation of a wind turbine on a naval ship**. 134 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Mecânica). Naval Postgraduate School, California, 2010.

UECKERDT, F. et al. System LCOE: What are the costs of variable renewables?. **Energy**, v. 63, p. 61-75, 2013.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. **UFSM em números**. Santa Maria, 2018. Disponível em: < <https://portal.ufsm.br/ufsm-em-numeros/publico/painel.html;jsessionid=a596877c51dce9f23ee780ce0238?categoria=102>>. Acesso em: 22 abr. 2018.

WEIDA, S.; KUMAR, S.; MADLENER, R. Financial viability of grid-connected solar PV and wind power systems in Germany. **Energy Procedia**, v. 106, p. 35-45, 2016.

APÊNDICE A – PLANILHA PARCIAL DE CÁLCULOS PARA O CENÁRIO 1

VERDE										
Período (meses)	Período (anos)	Consumo KW corrigido	Cenário 1							
			Manutenção	Receita	Líquido	PD	Payback	TIR	VPL	
0	0	0			-R\$ 30.000,00	-R\$ 30.000,00	-R\$ 30.000,00			-R\$ 30.000,00
1	0	662	R\$ -	R\$ 392,73	R\$ 392,73	-R\$ 29.609,45	-R\$ 29.607,27	-98,69%	-R\$ 29.609,45	
2	0	662	R\$ -	R\$ 392,73	R\$ 392,73	-R\$ 29.221,08	-R\$ 29.214,55	-87,89%	-R\$ 29.221,08	
3	0	662	R\$ -	R\$ 392,73	R\$ 392,73	-R\$ 28.834,85	-R\$ 28.821,82	-74,11%	-R\$ 28.834,85	
4	0	662	R\$ -	R\$ 392,73	R\$ 392,73	-R\$ 28.450,78	-R\$ 28.429,09	-62,09%	-R\$ 28.450,78	
5	0	662	R\$ -	R\$ 392,73	R\$ 392,73	-R\$ 28.068,83	-R\$ 28.036,37	-52,43%	-R\$ 28.068,83	
6	0	662	R\$ -	R\$ 392,73	R\$ 392,73	-R\$ 27.689,01	-R\$ 27.643,64	-44,76%	-R\$ 27.689,01	
7	0	662	R\$ -	R\$ 392,73	R\$ 392,73	-R\$ 27.311,29	-R\$ 27.250,91	-38,63%	-R\$ 27.311,29	
8	0	662	R\$ -	R\$ 392,73	R\$ 392,73	-R\$ 26.935,67	-R\$ 26.858,18	-33,68%	-R\$ 26.935,67	
9	0	662	R\$ -	R\$ 392,73	R\$ 392,73	-R\$ 26.562,14	-R\$ 26.465,46	-29,63%	-R\$ 26.562,14	
10	0	662	R\$ -	R\$ 392,73	R\$ 392,73	-R\$ 26.190,68	-R\$ 26.072,73	-26,27%	-R\$ 26.190,68	
11	0	662	R\$ -	R\$ 392,73	R\$ 392,73	-R\$ 25.821,28	-R\$ 25.680,00	-23,45%	-R\$ 25.821,28	
12	0	662	R\$ 900,00	R\$ 392,73	-R\$ 507,27	-R\$ 26.295,77	-R\$ 26.187,28	#NÚM!	-R\$ 26.295,77	
13	1	662	R\$ -	R\$ 415,29	R\$ 415,29	-R\$ 25.909,47	-R\$ 25.771,99	-23,21%	-R\$ 25.909,47	
14	1	662	R\$ -	R\$ 415,29	R\$ 415,29	-R\$ 25.525,32	-R\$ 25.356,70	-19,87%	-R\$ 25.525,32	
24	1	662	R\$ 951,71	R\$ 415,29	-R\$ 536,42	-R\$ 22.631,86	-R\$ 22.155,49	-9,57%	-R\$ 22.631,86	
25	2	662	R\$ -	R\$ 439,15	R\$ 439,15	-R\$ 22.249,77	-R\$ 21.716,34	-8,65%	-R\$ 22.249,77	
26	2	662	R\$ -	R\$ 439,15	R\$ 439,15	-R\$ 21.869,80	-R\$ 21.277,19	-7,89%	-R\$ 21.869,80	
27	2	662	R\$ -	R\$ 439,15	R\$ 439,15	-R\$ 21.491,94	-R\$ 20.838,04	-7,25%	-R\$ 21.491,94	
44	3	662	R\$ -	R\$ 464,38	R\$ 464,38	-R\$ 16.042,47	-R\$ 14.176,99	-2,51%	-R\$ 16.042,47	
45	3	662	R\$ -	R\$ 464,38	R\$ 464,38	-R\$ 15.681,00	-R\$ 13.712,61	-2,34%	-R\$ 15.681,00	
46	3	662	R\$ -	R\$ 464,38	R\$ 464,38	-R\$ 15.321,53	-R\$ 13.248,23	-2,19%	-R\$ 15.321,53	
47	3	662	R\$ -	R\$ 464,38	R\$ 464,38	-R\$ 14.964,07	-R\$ 12.783,84	-2,04%	-R\$ 14.964,07	
48	3	662	R\$ 1.064,21	R\$ 464,38	-R\$ 599,83	-R\$ 15.423,23	-R\$ 13.383,67	-2,24%	-R\$ 15.423,23	
111	9	662	R\$ -	R\$ 649,31	R\$ 649,31	R\$ 2.978,78	R\$ 15.302,43	0,74%	R\$ 2.978,78	
112	9	662	R\$ -	R\$ 649,31	R\$ 649,31	R\$ 3.326,83	R\$ 15.951,73	0,76%	R\$ 3.326,83	
113	9	662	R\$ -	R\$ 649,31	R\$ 649,31	R\$ 3.672,95	R\$ 16.601,04	0,77%	R\$ 3.672,95	
114	9	662	R\$ -	R\$ 649,31	R\$ 649,31	R\$ 4.017,15	R\$ 17.250,35	0,79%	R\$ 4.017,15	
115	9	662	R\$ -	R\$ 649,31	R\$ 649,31	R\$ 4.359,44	R\$ 17.899,65	0,81%	R\$ 4.359,44	
116	9	662	R\$ -	R\$ 649,31	R\$ 649,31	R\$ 4.699,82	R\$ 18.548,96	0,82%	R\$ 4.699,82	
117	9	662	R\$ -	R\$ 649,31	R\$ 649,31	R\$ 5.038,32	R\$ 19.198,26	0,84%	R\$ 5.038,32	
118	9	662	R\$ -	R\$ 649,31	R\$ 649,31	R\$ 5.374,94	R\$ 19.847,57	0,85%	R\$ 5.374,94	
119	9	662	R\$ -	R\$ 649,31	R\$ 649,31	R\$ 5.709,69	R\$ 20.496,87	0,87%	R\$ 5.709,69	
120	9	662	R\$ 1.487,99	R\$ 649,31	-R\$ 838,69	R\$ 5.279,70	R\$ 19.658,19	0,85%	R\$ 5.279,70	
121	10	662	R\$ -	R\$ 686,61	R\$ 686,61	R\$ 5.629,77	R\$ 20.344,80	0,86%	R\$ 5.629,77	
122	10	662	R\$ -	R\$ 686,61	R\$ 686,61	R\$ 5.977,88	R\$ 21.031,41	0,88%	R\$ 5.977,88	
123	10	662	R\$ -	R\$ 686,61	R\$ 686,61	R\$ 6.324,07	R\$ 21.718,02	0,89%	R\$ 6.324,07	
124	10	662	R\$ -	R\$ 686,61	R\$ 686,61	R\$ 6.668,33	R\$ 22.404,63	0,91%	R\$ 6.668,33	
125	10	662	R\$ -	R\$ 686,61	R\$ 686,61	R\$ 7.010,69	R\$ 23.091,24	0,92%	R\$ 7.010,69	
220	18	662	R\$ -	R\$ 1.073,51	R\$ 1.073,51	R\$ 32.123,77	R\$ 89.327,69	1,37%	R\$ 32.123,77	
221	18	662	R\$ -	R\$ 1.073,51	R\$ 1.073,51	R\$ 32.437,42	R\$ 90.401,20	1,38%	R\$ 32.437,42	
222	18	662	R\$ -	R\$ 1.073,51	R\$ 1.073,51	R\$ 32.749,34	R\$ 91.474,72	1,38%	R\$ 32.749,34	
223	18	662	R\$ -	R\$ 1.073,51	R\$ 1.073,51	R\$ 33.059,52	R\$ 92.548,23	1,38%	R\$ 33.059,52	
224	18	662	R\$ -	R\$ 1.073,51	R\$ 1.073,51	R\$ 33.367,98	R\$ 93.621,74	1,38%	R\$ 33.367,98	
225	18	662	R\$ -	R\$ 1.073,51	R\$ 1.073,51	R\$ 33.674,72	R\$ 94.695,26	1,38%	R\$ 33.674,72	
226	18	662	R\$ -	R\$ 1.073,51	R\$ 1.073,51	R\$ 33.979,77	R\$ 95.768,77	1,39%	R\$ 33.979,77	
227	18	662	R\$ -	R\$ 1.073,51	R\$ 1.073,51	R\$ 34.283,12	R\$ 96.842,28	1,39%	R\$ 34.283,12	
228	18	662	R\$ 2.460,14	R\$ 1.073,51	-R\$ 1.386,62	R\$ 33.893,46	R\$ 95.455,66	1,39%	R\$ 33.893,46	
229	19	662	R\$ -	R\$ 1.135,19	R\$ 1.135,19	R\$ 34.210,69	R\$ 96.590,85	1,39%	R\$ 34.210,69	
230	19	662	R\$ -	R\$ 1.135,19	R\$ 1.135,19	R\$ 34.526,16	R\$ 97.726,04	1,39%	R\$ 34.526,16	
231	19	662	R\$ -	R\$ 1.135,19	R\$ 1.135,19	R\$ 34.839,87	R\$ 98.861,24	1,39%	R\$ 34.839,87	
232	19	662	R\$ -	R\$ 1.135,19	R\$ 1.135,19	R\$ 35.151,84	R\$ 99.996,43	1,39%	R\$ 35.151,84	
233	19	662	R\$ -	R\$ 1.135,19	R\$ 1.135,19	R\$ 35.462,08	R\$ 101.131,62	1,40%	R\$ 35.462,08	
234	19	662	R\$ -	R\$ 1.135,19	R\$ 1.135,19	R\$ 35.770,60	R\$ 102.266,81	1,40%	R\$ 35.770,60	
235	19	662	R\$ -	R\$ 1.135,19	R\$ 1.135,19	R\$ 36.077,41	R\$ 103.402,01	1,40%	R\$ 36.077,41	
236	19	662	R\$ -	R\$ 1.135,19	R\$ 1.135,19	R\$ 36.382,51	R\$ 104.537,20	1,40%	R\$ 36.382,51	
237	19	662	R\$ -	R\$ 1.135,19	R\$ 1.135,19	R\$ 36.685,92	R\$ 105.672,39	1,40%	R\$ 36.685,92	
238	19	662	R\$ -	R\$ 1.135,19	R\$ 1.135,19	R\$ 36.987,64	R\$ 106.807,58	1,41%	R\$ 36.987,64	
239	19	662	R\$ -	R\$ 1.135,19	R\$ 1.135,19	R\$ 37.287,69	R\$ 107.942,78	1,41%	R\$ 37.287,69	
240	19	662	R\$ 2.601,48	R\$ 1.135,19	-R\$ 1.466,29	R\$ 36.902,28	R\$ 106.476,48	1,40%	R\$ 36.902,28	