

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA MICROGERAÇÃO DE
ENERGIA EÓLICA PARA PEQUENAS EMPRESAS EM AMBIENTE DE
INCERTEZA E RISCO**

LIVIAM SOARES LACERDA

JOÃO PESSOA – PB
2019

LIVIAM SOARES LACERDA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA MICROGERAÇÃO DE
ENERGIA EÓLICA PARA PEQUENAS EMPRESAS EM AMBIENTE DE
INCERTEZA E RISCO**

Projeto de Dissertação a ser submetido a
defesa do Mestrado no Programa de Pós-
Graduação em Engenharia de Produção da
Universidade Federal da Paraíba.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Rotela Junior

JOÃO PESSOA – PB

2019

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

L131a Lacerda, Liviam Soares.

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA MICROGERAÇÃO DE
ENERGIA EÓLICA PARA PEQUENAS EMPRESAS EM AMBIENTE DE
INCERTEZA E RISCO / Liviam Soares Lacerda. - João
Pessoa, 2019.
85 f. : il.

Orientação: Paulo Rotela Junior Rotela Junior.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Microgeração. 2. energia eólica. 3. análise de
viabilidade econômica. 4. análise de sensibilidade. 5.
redes neurais artificiais. I. Rotela Junior, Paulo
Rotela Junior. II. Título.

UFPB/BC



Ata da 625ª Apresentação Pública de
Dissertação da Mestranda **Liviam Soares
Lacerda** para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia de Produção na área de
Gestão da Produção, na linha de Gestão e
Otimização de Sistemas de Produção.

O Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção abriu sua sexcentésima vigésima quinta apresentação pública de dissertação, às oito horas do dia vinte e nove de abril de dois mil e dezenove, no Laboratório de Métodos Quantitativos do Departamento de Engenharia de Produção, onde se reuniu a Banca Examinadora composta pelos professores: **Paulo Rotella Junior**, Dr. (Orientador), **Rogério Santana Peruchi**, Dr. (Examinador Interno), **Luiz Moreira Coelho Junior**, Dr. (Examinador Externo - Departamento de Engenharia de Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas e Renováveis na Universidade Federal da Paraíba) e **Luiz Celio de Souza Rocha**, Dr. (Examinador Externo), sendo designada pela Portaria 004/2019-PPGEP para avaliar o trabalho "**Análise de Viabilidade Econômica da Microgeração de Energia Eólica para Pequenas Empresas em Ambiente de Incerteza e Risco**", de autoria da mestranda **Liviam Soares Lacerda**, candidata ao título de Mestre em Engenharia de Produção, na área de Gestão da Produção. Além dos examinadores e da mestranda, compareceram, familiares, convidados e representantes do corpo discente e docente. Iniciada a sessão o Prof. Paulo Rotella, na qualidade de presidente da Banca Examinadora, apresentou aos presentes qual a finalidade da reunião e os seus procedimentos de encaminhamento. A seguir, passou a palavra a mestranda para que em prazo regimental fizesse oralmente a exposição sucinta de seu trabalho. Concluída a apresentação, o senhor presidente solicitou à banca examinadora que tecessem seus comentários. Na



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROG. DE PÓS-GRAD. EM ENG. DE PRODUÇÃO

sequência, a banca reuniu-se em caráter secreto, a proceder julgamento e avaliação da dissertação, decidindo atribuir o conceito **APROVADO**, concedendo assim o grau de mestre a **Liviam Soares Lacerda**. Nada mais havendo a tratar, o senhor presidente agradeceu a presença de todos e encerrou a sessão, sugerindo por recomendação dos membros da banca que o prazo máximo para providenciar as correções e entregar os volumes da dissertação na Secretaria do Programa é de 60 dias a partir desta data. Para constar, eu, Ana Araújo Silva, secretária do PPGE, lavrei a presente Ata que assino juntamente com o presidente e demais membros da Banca Examinadora e a candidata. João Pessoa - PB, 29 de abril de 2019.


Ana Araújo Silva
Secretária


Paulo Rotella Junior, Dr.
Presidente da Mesa


Rogério Santana Peruchi, Dr.
Examinador Interno


Luiz Moreira Coelho Junior, Dr.
Examinador Externo

Luiz Celio de Souza Rocha, Dr.
Examinador Externo

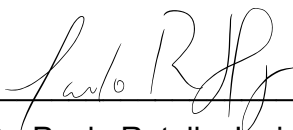

Liviam Soares Lacerda Mestranda
Mestranda

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA MICROGERAÇÃO DE
ENERGIA EÓLICA PARA PEQUENAS EMPRESAS EM AMBIENTE DE
INCERTEZA E RISCO**

LIVIAM SOARES LACERDA

Esta dissertação foi julgada e aprovada em sua forma final para
obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção pelo Programa
de Pós-graduação em Engenharia de produção da Universidade Federal
da Paraíba.

Joao Pessoa, 29 de abril de 2019.



Dr. Paulo Rotella Junior
(Orientador)

Dr. Rogério Santana Peruchi
(Examinador interno)

Dr. Luiz Moreira Coelho Junior
(Examinador externo- Departamento de Engenharia de Energias
Renováveis na Universidade Federal da Paraíba)

Dr. Luiz Celio de Souza Rocha
(Examinador externo)

RESUMO

A dependência do petróleo e por consequência a sua escassez, gerou uma crise energética mundial, diminuindo a disponibilidade de energia. Para diminuir os riscos de uma nova crise energética e aumentar a disponibilidade de energia, é importante e recomendado o uso de fontes de energia renovável (FER). No Brasil, micro e pequenas empresas representam cerca de 25% do PIB, e a energia elétrica é empregada intensivamente, por isso a importância da microgeração. Esta pesquisa tem como objetivo analisar a viabilidade econômica de um projeto de microgeração de energia eólica para micros e pequenas empresas. Para isso, foram considerados três estados brasileiros, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul e Minas Gerais, e diferentes cenários foram propostos. Esta pesquisa é de abordagem quantitativa e o método de pesquisa utilizado é a Modelagem e Simulação. A pesquisa se inicia com uma análise de viabilidade econômica determinística, seguida de uma análise de sensibilidade e uma análise estocástica da viabilidade econômica, utilizando a Simulação de Monte Carlo (SMC). Para a análise de viabilidade foram utilizados critérios de decisão consagrados na literatura, sendo o Valor Presente Líquido (VPL) o mais utilizado pela literatura. E, por fim, o conceito de Redes Neurais Artificiais (RNA) será utilizado para avaliar a importância relativa (RI) das variáveis. Nos resultados preliminares, é visto que nenhum dos estados apresenta viabilidade econômica nas condições apresentadas. Por meio da análise de sensibilidade, é visto que a variável velocidade do vento é a mais sensível, podendo impactar 98,2% no VPL. Na análise estocástica, é visto que a probabilidade de viabilidade está entre 17% e 23% em todos os estados, o que demonstra uma baixa probabilidade de viabilidade para microgeração. Com o cálculo da RI, foi confirmado que a velocidade do vento é a variável que mais impacta o VPL em todos os estados, sendo considerada a variável mais relevante na viabilidade do projeto. Foi concluído que, dependendo da região instalada, o projeto pode se tornar viável, devido às diferentes velocidades de vento. Além disso, os incentivos públicos para promoção do investimento em energia renovável podem reduzir os custos de investimento e como consequência tornar viável o projeto, tornando atraente para as micros e pequenas empresas.

PALAVRAS CHAVE:

Microgeração; energia eólica; análise de viabilidade econômica; análise de sensibilidade; redes neurais artificiais.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Matriz energética brasileira.	6
Figura 2- Evolução das pesquisas acadêmicas envolvendo viabilidade em FER.	10
Figura 3- Evolução da potência instalada até 23/05/2017.....	23
Figura 4- Classe de consumo dos consumidores até 23/05/2017.....	24
Figura 5- Fluxograma do modelo de SMC.	38
Figura 6- Modelo não-linear de um neurônio.....	41
Figura 7- Grafo de modelo.	43
Figura 8- Definição da pesquisa. Fonte: Miguel <i>et al.</i> (2010).	50
Figura 9- Fluxograma da pesquisa proposta.	51
Figura 10- Análise de sensibilidade para o VPL no estado do RN.	64
Figura 11- Gráfico da análise de sensibilidade para o VPL no estado do RN. .	65
Figura 12- Gráfico de tornado para o estado do RN.	67
Figura 13- Probabilidade de viabilidade econômica para o RN.....	68
Figura 14- Probabilidade de viabilidade econômica para o RS.....	68
Figura 15- Probabilidade de viabilidade econômica para MG	69

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Estratégias a longo prazo.....	14
Quadro 2- Principais políticas e incentivos públicos no Brasil.....	20
Quadro 3- Vantagens e desvantagens da microgeração.	25
Quadro 4- Propriedades redes neurais artificiais	41
Quadro 5- Modelo de fluxo de caixa.....	59
Quadro 6- Resumo dos resultados de <i>RI</i> por estado	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Consumo por classe.....	8
Tabela 2- Características técnicas aero gerador.....	52
Tabela 3- Custos de O&M na literatura.....	53
Tabela 4- Taxas de juros do financiamento	54
Tabela 5- Informações sobre ventos por estado	55
Tabela 6- Dados coletados e calculados para esta pesquisa	62
Tabela 7- Velocidade do vento e economia gerada	62
Tabela 8- Resultados do VPL por estado.....	63
Tabela 9- Probabilidade de viabilidade econômica por estado	69
Tabela 10 Valores da matriz $M_{(1 \times 11)}$	70
Tabela 11 Valores da matriz $W_{(11 \times 8)}$	70
Tabela 12 Valores da matriz $R_{(1 \times 8)}$	71
Tabela 13 Resultados de RI obtidas por meio do treinamento de rede para o estado do RN	71

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	6
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E PROBLEMA DE PESQUISA	6
1.2 OBJETIVOS	8
1.2.1 Objetivo geral	8
1.2.2 Objetivos específicos.....	8
1.3 JUSTIFICATIVA	9
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1 ENERGIAS RENOVÁVEIS.....	12
2.1.1 Histórico	12
2.1.2 Políticas Energéticas	13
2.1.3 Políticas energéticas e os investimentos.....	17
2.1.4 Influência das políticas brasileiras nos investimentos	22
2.2 ANÁLISE DE INVESTIMENTO	27
2.2.1 Análise de viabilidade econômica da geração de energia a partir de fontes renováveis	27
2.2.2 Valor Presente Líquido (VPL).....	31
2.2.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)	33
2.2.4 Payback.....	34
2.2.4 Cálculo da taxa de desconto utilizando o WACC (<i>Weighted Average Capital Cost</i>).....	34
2.3 ANALISE DE SENSIBILIDADE E A SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO	37
2.3.1 SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO	37
2.3.2 REDES NEURAIS ARTIFICIAIS	40
3. METODO DE PESQUISA	50
3.1 COLETA DE DADOS	52
3.1.1 Investimento	52
3.1.2 Operação e manutenção	53
3.1.3 Depreciação	53
3.2 FINANCIAMENTO.....	54
3.3 DADOS SOBRE VENTOS	55
3.4 PRODUÇÃO ENERGÉTICA	55

3.5 CÁLCULO DO WACC	57
3.6 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	58
3.7 CONSTRUÇÃO DE MODELO DE REDES NEURAIS	60
4. VIABILIDADE ECONÔMICA	62
4.1 ANÁLISE ESTOCÁSTICA	63
4.2 Análise de sensibilidade utilizando RNA	70
5. Conclusões	74

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E PROBLEMA DE PESQUISA

A escassez do petróleo foi prevista desde 1920 por especialistas, contradizendo empresas produtoras de petróleo que afirmavam o contrário, por ser um item em abundância em todo o mundo e devido ao seu baixo custo de produção (AKINS, 1973). A crise do petróleo gerou como consequência a crise de energia no ano de 1974, o que desencadeou a adoção de novas tecnologias para economia de energia e eficiência energética (ALPANDA e PERALTA ALVA, 2010).

A matriz energética mundial, como pode ser visto na Figura 1, segundo a Agência Internacional de Energia (IEA- *International Energy Agency*, 2017), tem como sua maior parte a energia oriunda do carvão (carvão primário e combustíveis derivados) e do óleo (produtos de óleo compreendem gás de refinaria, etano, GLP, gasolina de aviação, combustíveis, ceras de parafina, nafta, croque de petróleo e outros produtos petrolíferos), duas fontes de energia com alta emissão de CO₂.

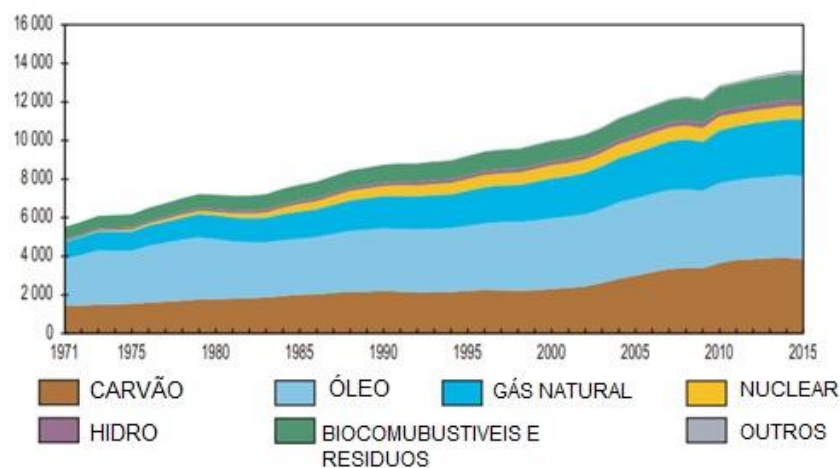


Figura 1- Matriz energética brasileira.

Fonte: International Energy Agency- IEA (2017, p.6).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2016), o Brasil possui em sua matriz energética 41,2% de energias renováveis, sendo 64% de fonte hidráulica, mostrando uma forte dependência da energia hidrelétrica para o país. A energia eólica possui um destaque na participação da energia elétrica

brasileira, pois vem apresentando um quadro de crescimento favorável desde 2011. O Brasil possui um alto potencial eólico creditado no fortalecimento de uma crise do fornecimento de eletricidade, a atratividade ambiental, a adoção de programas de incentivo e ações para estruturar um quadro regulatório de recursos renováveis (SILVA *et al.*, 2013). Com o intuito de mitigar o risco hidrológico no país, devido à seca em 2014, que ameaçou o abastecimento de energia elétrica no Brasil, as fontes de energia renováveis contribuem para gerar energia de reserva em função de alguma crise na principal fonte de energia (AQUILA *et al.*, 2016).

O crescimento de energia renovável no Brasil ainda enfrenta dificuldades devido a fatores de custo e apoio em políticas públicas (COSTA, ROVERE e ASSMANN, 2008). Com o crescimento do mercado, o custo da energia eólica é cinco vezes menor que há 20 anos. O preço é diferenciado por tamanhos e produtores de turbinas, e o custo de produção de energia diminui conforme a velocidade do vento aumenta (SAHIN, 2004).

O desenvolvimento econômico das nações tem tido como pré-requisito a disponibilidade de energia em quantidade e qualidade, sendo a energia um bem estratégico, com a segurança energética sendo tratada como assunto de agendas e conferência mundiais (TOLMASQUIM, GUERREIRO e GORINI, 2007). Aquila (2015) comenta que o mercado de energia renovável está em expansão, que as mudanças regulatórias no Brasil têm influenciado o setor energético, e discorre sobre a necessidade de estudos sobre a viabilidade de micro geração e comparações com diferentes regiões.

No Brasil, 99% das empresas são constituídas por microempreendedores individuais, micro e pequenas empresas, que representam cerca de 25% do PIB (SEBRAE, 2016). Edifícios residenciais e comerciais na maioria dos países são responsáveis pelo consumo de 40 a 50% de energia, e 30 a 45% da liberação de gases de efeito estufa (ENTCHEV, CHUL e JOON, 2015).

A energia é empregada intensivamente nas empresas, e por isso a importância da sustentabilidade a longo prazo, ou seja, buscar fontes alternativas de energia é sobrevivência e competitividade. E, segundo dados da ANEEL (2018) sobre micro e minigeração, no Brasil a classe comercial é a que

possui maior consumo de energia com a microgeração e minigeração, como pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1- Consumo por classe

Classe de Consumo	Potência Instalada (kW)
Comercial	138.481,33
Residencial	85.380,72
Industrial	38.107,87
Rural	25.425,58
Poder Público	8.900,45
Serviço Público	1.231,00
Iluminação pública	84,9

Fonte: ANEEL (2018).

Diante do exposto, é necessário um maior estudo das políticas energéticas brasileiras com atenção especial a micro e mini geração de energia elétrica, com foco nas micro e pequenas empresas (MPEs), mostrando a viabilidade econômica de empreendimentos com fontes renováveis. Este estudo visa responder até que ponto existe a viabilidade econômica para um projeto de micro e mini geração de energia elétrica a partir de turbina eólica, utilizando simulações, criando cenários e identificando quais são as variáveis mais relevantes para a análise de viabilidade.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Realizar uma análise estocástica de viabilidade econômica da microgeração de energia elétrica a partir da fonte eólica para micros e pequenas empresas.

1.2.2 Objetivos específicos

- Elencar os incentivos para microgeração de energia elétrica;
- Analisar itens de custos associados a produção de energia eólica;
- Elaborar fluxo de caixa descontado para a operação;

- Realizar simulações em cenários de incertezas e risco por meio da Simulação de Monte Carlo (SMC);
- Utilizar modelos de Redes Neurais Artificiais (RNA) e conceito de Importância Relativa (RI) para realizar a análise de sensibilidade das variáveis;

1.3 JUSTIFICATIVA

A micro e minigeração de energia elétrica aumenta a disponibilidade de energia, assim como a economia no gasto com energia elétrica, o que pode ser bastante significativo para as micro e pequenas empresas. A análise de viabilidade econômica mostra, por meio de critérios de decisão, a economia gerada por fontes renováveis. Com a escassez do petróleo e a crise energética, os investimentos em energias renováveis estão cada dia maiores, e a busca por produção limpa aumenta a cada ano.

Na base de dados de pesquisa *Science Direct*, com a combinação dos termos “*feasibility analysis*” e “*renewable energy*” é obtido o resultado de 1.190 artigos envolvendo os dois termos, mostrando o crescimento no âmbito científico e a importância das fontes de energia renováveis (FER), como pode ser visto na Figura 2. Pode-se perceber que as pesquisas acadêmicas envolvendo viabilidade e energia renováveis, iniciaram a partir de 1993, historicamente após a quarta grande crise do petróleo e a guerra do golfo, em 1991.

Killinger *et al.* (2015) mostram em seus estudos que a micro e minigeração, assim como a cogeração, podem ser lucrativas devido às taxas de uso de rede, mostrando forte tendência para as turbinas eólicas. Diante desse cenário, é necessária uma maior confiabilidade nesse tipo de empreendimento.

Na literatura, já é possível encontrar pesquisas envolvendo análise de viabilidade de empreendimentos envolvendo fontes de energia renováveis, alguns autores trabalham utilizando fontes eólicas (RODRIGUES, CHEN e MORGADO-DIAS, 2017; ASUMADU-SARKODIE e OWUSU, 2016; AYODELE, OGUNJUYIGBE e AMUSAN, 2016; HIRTH, UECKERDT e EDENHOFER,

2016; GRIESER, SUNAK e MADLENER, 2015; REZZOUK e MELLIT, 2015; LI, LU e WU, 2013).

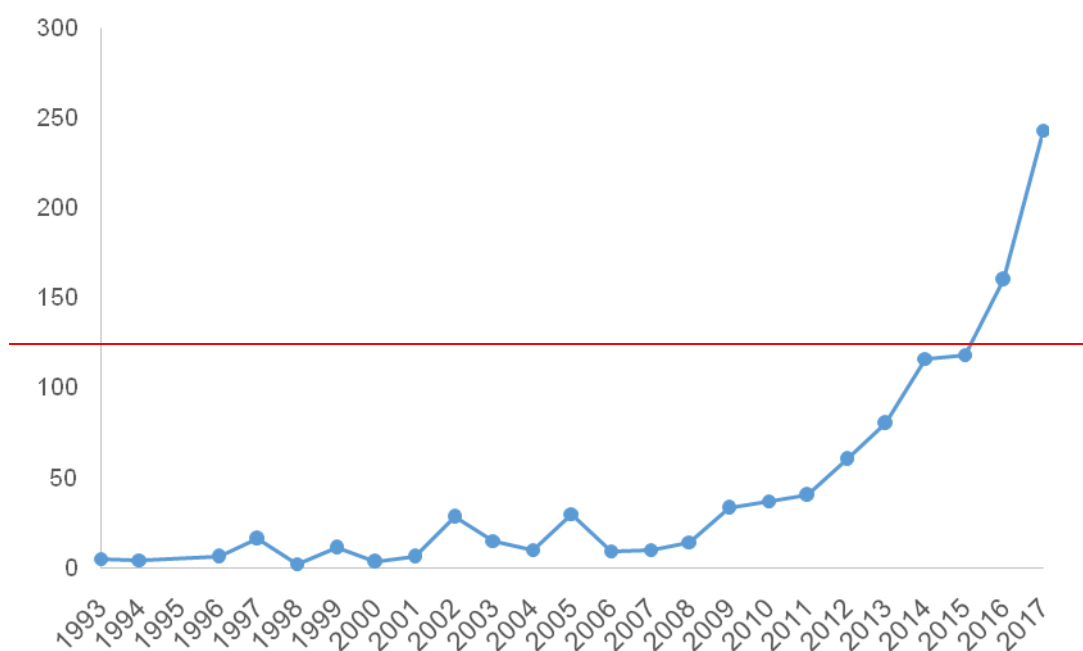


Figura 2- Evolução das pesquisas acadêmicas envolvendo viabilidade em FER.

E, alguns até envolvendo simulações de Monte Carlo para o gerenciamento do risco econômico (AQUILA *et al.*, 2016; MOMEN *et al.*, 2016; ARNOLD e YILDIZ, 2015; KITZING, 2014; KUCZYNSKI e HENDEL, 2014; MONTES *et al.*, 2011) motivados pelo alto grau de incerteza inerente a esse tipo de empreendimento.

Entretanto, utilizando a combinação dos métodos, simulação de Monte Carlo (SMC) e Redes Neurais Artificiais (RNA), para simulações e identificação das variáveis que mais impactam no indicador financeiro Valor Presente Líquido (VPL), o tema é uma lacuna na literatura que vem sendo pouco explorado. Em seu trabalho, Sahin (2004) conclui sobre a aplicação de redes neurais em projetos de energia eólica, já que produzem melhores resultados em problemas de modelagem, controle e otimização. Alguns autores analisam a viabilidade de fontes renováveis utilizando redes neurais, porém sob óticas diferentes (WANG *et al.*, 2016; CHAKRABARTY, BOKSH e CHAKRABARTY, 2013; VELÁZQUEZ, CARTA e MATÍAS, 2011).

Na literatura, alguns pesquisadores sugerem uma análise mais aprofundada relacionada à microgeração, em particular, pequenos projetos descentralizados de energia eólica (HOLDERMANN, KISSEL e BEIGEL, 2014; WALTER e WALSH, 2011; NAGOAKA *et al.*, 2007).

É possível observar que poucos são os trabalhos que discutem a necessidade de se realizar uma análise estocástica e de sensibilidade, considerando vários cenários, informando ao investidor da micro e pequena empresa sobre os retornos que esse tipo de empreendimento pode gerar. Então, a fim de contribuir para esta lacuna identificada na literatura, neste trabalho será utilizada a simulação de Monte Carlo em conjunto com a aplicação de Redes Neurais Artificiais, com o intuito de analisar a viabilidade da geração de energia eólica para diferentes cenários e discutir as variáveis mais relevantes no estudo.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação será estruturada inicialmente em cinco capítulos, e, abaixo, estes são apresentados brevemente.

No capítulo 1, referente a introdução, foi possível contextualizar o leitor sobre a pesquisa e a definição do problema de pesquisa. Ainda, é apresentada a justificativa, a partir da relevância do tema identificada na literatura. E, por fim, os objetivos do trabalho foram apresentados.

O capítulo 2 consiste na revisão da literatura, onde serão apresentados os principais conceitos referentes à temática energias renováveis, análise de investimento e análise de sensibilidade, trazendo conceitos e as principais discussões da literatura.

O capítulo 3 irá descrever os procedimentos metodológicos utilizados na pesquisa, o tipo de pesquisa e sua classificação, assim como o passo a passo do método proposto.

No capítulo 4 será detalhada a Coleta de dados e os seus instrumentos de coleta, assim como a tabulação e análise de dados.

Por fim, no capítulo 5 serão expostos os resultados da pesquisa, assim como conclusões, limitações e recomendações para pesquisas futuras.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão apresentados os principais conceitos e discussões sobre os temas referentes a pesquisa, que darão base para o entendimento do método proposto e melhor compreensão ao objeto de estudo. Os principais temas para o embasamento do projeto são:

- Energias renováveis, apresentando seu histórico, investimentos e políticas, práticas e políticas brasileiras, e o entendimento sobre microgeração;
- Análise de viabilidade de investimento, apresentando estudos sobre a viabilidade econômica em fontes de energia renováveis, os principais critérios utilizados, e ainda, destacando a importância desse tipo de análise;
- Por último, será discutido análise de sensibilidade em projetos de análise de viabilidade, além de seu uso; análise de risco e incerteza, com destaque para método da simulação de Monte Carlo; E, ainda, serão apresentados os conceitos de Redes Neurais Artificiais (RNA). E será contextualizado sobre micro e pequenas empresas no Brasil.

2.1 ENERGIAS RENOVÁVEIS

2.1.1 Contextualização

A energia se caracteriza em dois tipos, sendo o primeiro deles o renovável (energia solar, eólica, hídrica, ondas), e o outro, não renovável (carvão, petróleo, gás natural). Desde a revolução industrial, o carvão e óleo combustível são utilizados como fontes primárias de energia. Contudo, por questões ambientais, como a acumulação de dióxido de carbono na atmosfera, e pela limitação das fontes, a busca por alternativas limpas, sustentáveis e ambientalmente amigáveis tem recebido destaque (SAHIN, 2004).

Os resultados nas pesquisas de Aguirre e Ibikunle (2014) apontam que os níveis de emissão de CO₂ são indicadores significativos da participação das energias renováveis, sendo as preocupações ambientais mais importantes do que a segurança energética para os países estudados. É interessante destacar que sua pesquisa foi realizada em 38 países.

Sahin (2004) comenta que as crises de poluição em conjunto com a crise do petróleo são catalisadores nas pesquisas e desenvolvimento de energias renováveis. Entretanto, sob alta pressão para garantir o fornecimento de energia, os países tendem a empregar menos energia renovável e, provavelmente, mais combustíveis fósseis devido à sua vantagem de custo (AGUIRRE e IBIKUNLE, 2014). Silva, Marchi Neto e Seifert (2016) falam que a crise energética também é um resultado direto dos atrasos nos projetos de geração e transmissão e das políticas energéticas inadequadas.

Em seu estudo, Popp (2002) estuda a relação entre o preço da energia e as tecnologias para produção de energia, mostrando o forte impacto que o preço da energia tem nas inovações tecnológicas. O autor ainda sugere os incentivos de impostos e regulamentos para aumento no desenvolvimento de novas tecnologias, mostrando que apenas os problemas ambientais não são suficientes para a inovação no setor, devendo haver algum mecanismo que encoraje as pesquisas e inovações.

2.1.2 Políticas Energéticas

A redução das emissões de CO₂ é um dos principais objetivos propostos pelas políticas energéticas atuais, devido ao aumento dos gases contribuindo para o aquecimento do planeta, e ao fato de que a humanidade está cada vez mais preocupada com esses efeitos (PEARCE, 2002). Diferentes instrumentos de políticas, como subsídios para tecnologias de baixa emissão de carbono, padrões de emissões ou preço do carbono podem ser usados para alcançar esse objetivo (PETITET, FINON e JANSSEN, 2016). Aquila *et al.* (2016a) discutem sobre as estratégias que o poder público pode utilizar para alavancar o mercado de energia renovável, podendo ser de curto ou longo prazo. Os autores comentam que as estratégias de curto prazo mais populares são: subsídios diretos, redução de impostos e cobrança de imposto para uma certa quantidade de emissões de CO₂. As estratégias a longo prazo mais utilizadas pelo mundo estão descritas no Quadro 1.

As tarifas *feed-in* diminuem o risco de preço para a produção de energia elétrica, e assim, é um dos instrumentos de política energética mais eficazes e proeminentes para promover investimentos em energias renováveis (CHASSOT, HAMPL e WÜSTENHAGEN, 2014).

Quadro 1- Estratégias a longo prazo

Estratégia política	Descrição
Tarifas <i>Feed-in</i> (FITs)	Política pública para adoção de fontes de energia renovável, que tem como premissas: Garantia de acesso à rede elétrica; Contratos que estabelecem o fornecimento de energia a longo prazo e preços calculados com base em custos nivelados de geração de energia de cada fonte.
Leilões	O governo convida os produtores de energia renovável a competir dentro de uma determinada base orçamentária ou capacidade de geração, promovendo a competição entre diferentes fontes. Promove a redução de custo dos fornecedores para muitas fontes e permite a redução nos preços da energia.
Sistema de cotas	Cotas com comercialização de certificados, os produtores de energia limpa recebem um certificado comercializável. Uma das variantes mais conhecidas é a comercialização de certificados verdes, no qual a eletricidade verde é produzida, medida e certificada por uma autoridade de certificação geralmente controlado por uma agência governamental, o processo é semelhante às transações bancárias, no qual a energia produzida é revertida em créditos.
<i>Net metering</i>	O sistema compensa o usuário de eletricidade oriunda de FER com o sistema distribuído. Funciona através de um medidor capaz de mostrar o balanço de consumo e de geração de energia. A energia produzida pelos equipamentos de pequeno porte é utilizada para descontar o consumo de energia da unidade consumidora.

Fonte: Aquila *et al.* (2016a).

Aquila *et al.* (2016b) mostram em suas pesquisas a importância dos leilões para a reduzir a incerteza, com ações do tipo contratos de longo prazo e remuneração fixa sobre a energia produzida, tornando mais seguro para o investidor em FER. Ainda, discutem que o sistema de cotas não é o mais recomendado como política em países em desenvolvimento, por possuírem cenários políticos e econômicos instáveis. Nessas condições, os autores sugerem que estratégias sejam elaboradas com o intuito de eliminarem incertezas para qualquer produtor que introduza FER no mercado.

Rocha *et al.* (2017) comentam que o *net metering* é um incentivo a geração distribuída no Brasil, com a demanda crescente por energia no Brasil e a perspectiva global de redução de custos e crescimento de energias renováveis.

A crescente preocupação com as mudanças climáticas globais e com a poluição traz a necessidade de mais aplicações de fontes de energia renováveis, especialmente fontes como a energia solar e a energia eólica. No entanto, ainda falta informação quantificada para o incentivo do desenvolvimento de sistemas de energias renováveis (XUE *et al.*, 2015). A transição de longo prazo para uma sociedade com baixas emissões de carbono

requer a exploração de fontes de energia renováveis em um nível maior, e as condições para isso devem ser fornecidas por uma política energética abrangente e adaptativa (AL-MANSOUR, SUCIC e PUSNIK, 2014).

Dellano-paz *et al.* (2015) comentam sobre a política energética europeia em matéria de fontes de energia renovável (*renewable energy sources*), o que aumentou substancialmente a presença de FER no portfólio europeu e melhorou o seu nível de segurança de abastecimento, competitividade e sustentabilidade ambiental. Os autores concluem que um futuro energético eficiente, seguro e favorável ao meio ambiente na união europeia parece estar intimamente ligado à FER.

Osmani *et al.* (2013) recomendam a adoção de uma abordagem abrangente para a implementação da política de energia renovável. As iniciativas políticas propostas devem ultrapassar a fase conceitual e seus detalhes precisam ser elaborados.

É necessário que se projete uma combinação de políticas energéticas para estimular os investimentos na produção de eletricidade a partir de fontes renováveis, já que diferentes investidores são influenciados por diferentes demandas institucionais (MIGNON e BERGEK, 2016).

Os envolvidos em processos políticos geralmente têm uma compreensão técnica limitada das tecnologias que eles podem apoiar ou se opor, e as políticas adotadas podem nem sempre refletir as realidades tecnológicas (CHAUDHRY *et al.*, 2013). Pfenninger e Keirstead (2015) comentam que uma política sem objetivos claros não envia uma mensagem forte aos investidores, e as mudanças no foco podem deixá-los com recursos encaalhados.

Xue *et al.* (2015) abordam que embora seja claro que a aplicação da energia eólica pode reduzir significativamente as emissões de CO₂ e de poluição do ar, na realidade, o sistema de energia a carvão ainda está dominando na China, devido ao seu preço ser relativamente mais barato, e a existência de grandes reservas disponíveis para exploração.

A capacidade de acomodar a energia eólica em um sistema nacional de energia requer não só soluções técnicas, mas também reformas na gestão, políticas e regulamentos (TAN *et al.*, 2013). A expansão da energia eólica dependerá das circunstâncias específicas que um país ou uma região enfrenta,

como o *mix* de geração da rede ao qual o vento será conectado, a distância entre parques eólicos e a conexão de rede mais próxima, incentivos econômicos e apoio institucional (TIMILSINA, VAN KOOTEN e NARBEL, 2013).

Hitaj (2013) concluiu que as políticas governamentais estaduais e federais nos Estados Unidos desempenham um papel importante no desenvolvimento da energia eólica, fornecendo apoio financeiro e melhorando o acesso à rede elétrica. O autor ainda comenta que, com fortes taxas de crescimento nos últimos três anos, o setor de energia eólica deve se tornar um protagonista importante na indústria elétrica.

Os custos econômicos completos de fornecer energia eólica são maiores que os associados aos tipos tradicionais de geração de eletricidade. Por isso, o contributo da energia eólica para o *mix* global de fornecimento de energia é tão pequeno comparado a outros tipos de fontes (TIMILSINA, VAN KOOTEN e NARBEL, 2013).

Timilsina, Van Kooten e Narbel (2013) discutem que a diminuição contínua dos custos da energia eólica irá auxiliá-la a se tornar uma fonte mais competitiva, sendo o principal obstáculo a natureza intermitente dos recursos eólicos, ou seja, uma restrição técnica é o maior desafio para o desenvolvimento futuro da energia eólica. Segundo Silva, Marchi Neto e Seifert (2016), os principais problemas para a exploração da energia eólica é a falta de capacidade de armazenamento de eletricidade e geração intermitente.

Kaplan (2015) comenta que embora a Turquia tenha um potencial maior que muitos países desenvolvidos em relação à energia eólica, a eficiência esperada não pode ser obtida devido à falta de uma política nacional de energia renovável e ao fato de que a energia eólica não é promovida por incentivos. Kaplan (2015) sugere que os apoios locais da Turquia devem ser fornecidos juntamente com as isenções fiscais exigidas, e que, conceder garantias de longo prazo a preço fixo, deve estar na agenda do governo.

Osmani *et al.* (2013) comentam que com o propósito de desenvolver um conjunto robusto de políticas envolvendo energia renovável, os gestores precisam levar em consideração os vários objetivos políticos, a busca pela maximização do lucro financeiro para os produtores de energia renovável, as atitudes dos investidores, quantificando o risco em projetos de energia

renovável, e os *trade-offs*, com custo de implementação de políticas, benefícios esperados a curto e longo prazo. Com isso, desenvolvendo políticas públicas que incentivem o investimento e desenvolvimento de projetos com energias renováveis.

2.1.3 Políticas energéticas e os investimentos

Sahin (2004) comenta que o desenvolvimento tecnológico recebeu fortes influências das decisões políticas e de mercado durante o desenvolvimento moderno da energia eólica. Decisões e incentivos significativos foram desencadeadas por decisões políticas e o caminho destas modula a direção em que a tecnologia se desenvolve (SAHIN, 2004).

O impacto das demandas institucionais em diferentes estágios do processo de investimento mostra que, mesmo que alguns investidores não sejam estimulados por políticas públicas para tomar a decisão de investir, as políticas podem influenciar futuramente em seus processos de investimento (MIGNON e BERGEK, 2016).

As decisões ótimas de investimentos a longo prazo são determinadas considerando os aspectos dinâmicos do mercado de eletricidade (KOLTSAKLIS e GEORGIADIS, 2015). As elevadas taxas de eletricidade para o setor industrial (elevadas devido à escassez) também levam a menores investimentos em energia renovável. Nesse cenário, as energias renováveis poderiam de fato ajudar a reduzir os preços da eletricidade (AGUIRRE e IBIKUNLE, 2014).

Na China a eletricidade é muito importante para a econômica nacional, entretanto, o governo não permite que muitas empresas se envolvam na produção de energia eólica e relutam em emitir políticas de demanda, principalmente políticas de terceirização (LIAO, 2016). O autor propõe que o governo chinês deva promover o desenvolvimento do setor de energia eólica e reduzir a incerteza do mercado por meio de contratos governamentais, terceirização, controles comerciais e outros instrumentos, melhorando a implementação de recursos financeiros, subsídios, preferências fiscais e outros instrumentos de política.

Blazejczak *et al.* (2014) mostram que a expansão das energias renováveis na Alemanha tem um efeito líquido positivo sobre o crescimento

econômico. O principal impulsionador desse resultado é o aumento das atividades de investimentos, salientando que a proporção de investimento e a geração de energia no setor eólico são sensíveis a velocidade média do vento das regiões, aumentando com os valores crescentes de velocidade (KILLINGER *et al.*, 2015).

A fim de garantir investimentos futuros em energia eólica, são necessárias alterações nos procedimentos de ordenamento do território, bem como melhorias na comunicação entre investidores e o público, incluindo organizações não governamentais e administração local (AL-MANSOUR, SUCIC e PUSNIK, 2014).

O uso do potencial atual e o fornecimento de recursos de energia renovável para entrar no mercado são possíveis apenas com leis e regulamentos que suportam mecanismos adequados para energia renovável (KAPLAN, 2015).

O desenvolvimento persistente da energia hidrelétrica e eólica na China, feito de maneira social e ambientalmente responsável, é um pré-requisito para aumentar a segurança energética da China. Assim, os investimentos devem ser priorizados no futuro planejamento do desenvolvimento de energia renovável (REN e SOVACOOOL, 2015). Zhang *et al.* (2013) recomendam que a China agilize o estabelecimento do sistema de quotas de energia renovável, segundo o qual um portfólio diversificado de energia renovável seria encorajado de modo a utilizar os recursos renováveis de forma coordenada.

No estudo de Tampakis *et al.* (2013), os autores mostram que os cidadãos da Grécia consideram investimentos em fontes de energias renováveis uma solução aceitável em relação ao fornecimento de energia da ilha, e que esses investimentos ajudarão a criar novas oportunidades de emprego. Blazejczak *et al.* (2014) também comentam a importância das políticas de mercado de trabalho como complemento na expansão das energias renováveis, afirmando que reduzir os impactos ambientais e melhorar a segurança energética de longos prazos podem ser obtidos sem sacrifícios de renda e emprego líquido.

Para aumentar a participação da eletricidade gerada a partir de recursos renováveis, é essencial que a viabilidade financeira das tecnologias renováveis seja demonstrada, assegurando que o custo gerador de eletricidade continue a

diminuir (OSMANI *et al.*, 2013). Timilsina, Van Kooten e Narbel (2013) citam os custos da geração de energia eólica: custos diretos, sendo o custo econômico, custo de capital, custos de operação e manutenção, custo das turbinas, construção entre outros; custos indiretos incluem o *mix* de geração existente, a conectividade com *grids*, procedimentos operacionais do sistema; e os custos de externalidade, relacionados a poluição sonora, impactos na vida selvagem, entre outros.

Silva *et al.* (2013) listam as características que possibilitam a atração de investidores no setor eólico brasileiro, aproveitando o alto potencial eólico: Fortalecimento de uma crise nacional de fornecimento de eletricidade; Atratividade ambiental dos recursos renováveis comparados aos efeitos dos combustíveis fósseis; Adoção de programas governamentais para incentivar a utilização de recursos renováveis; Ações destinadas a estruturar um quadro regulatório para incluir recursos renováveis.

Zhang *et al.* (2013) comentam que na China, no plano que estabeleceu uma quota de mercado obrigatória, a energia eólica foi preferida por investidores que possuem compromissos proporcionais dentro dos prazos obrigatórios estabelecidos.

Os resultados nos estudos de Petitet, Finon e Janssen (2016) confirmam que não só a competitividade econômica em termos de custo nivelado de eletricidade (*Levelized Costs of Electricity* - LCOE), mas também as capacidades de aproveitar as tecnologias tradicionais de combustíveis fósseis são necessárias para um desenvolvimento de energia eólica impulsionado pelo mercado.

Tanto a teoria econômica quanto os recentes desenvolvimentos em tecnologias de energia alternativa sugerem que a vantagem atual de geração eólica e células fotovoltaicas continuará a aumentar no futuro, deixando a energia hidrelétrica, por exemplo, a um custo relativo maior. Segundo Kahn, Freitas e Petrere (2014) a energia eólica terá um aumento na eficiência e apresentará uma queda nos custos ao longo do tempo.

2.1.3.1 Políticas brasileiras

Aquila *et al.* (2016b) mostraram em seus resultados a importância das estratégias regulatórias e mecanismos de incentivo para apoiar o crescimento de FER, que ainda não são economicamente competitivas em comparação com fontes de energia convencionais. Uma estratégia de apoio aos fabricantes e investimentos nacionais em pesquisa e desenvolvimento é crucial para alcançar metas em termos de segurança do fornecimento de eletricidade, um ambiente político favorável é essencial para o desenvolvimento de tecnologias renováveis (CORRÊA, NETO e SEIFERT, 2016; PINTO, AMARAL e JANISSEK, 2016).

Nos últimos anos, poucas políticas foram criadas no Brasil. O Programa Estadual de Desenvolvimento Energético (PRODEEM), engloba fontes solares e eólicas e recompensa empresas que implantam energia limpa em seus sistemas de produção. O programa é visto pelo mercado como burocrático, superficial e hostil à implantação de novas tecnologias (PINTO, AMARAL e JANISSEK, 2016). O Quadro 2 mostra as principais políticas e incentivos públicos no Brasil.

Quadro 2- Principais políticas e incentivos públicos no Brasil.

Políticas	Descrição	Referências
DNN2793 - Decreto de 27 dez 1994	PRODEEM - Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios (BRASIL, 1994).	Gucciardi Garcez (2017); Costa, Rovere e Assmann (2008); Ruiz, Rodríguez e Bermann (2007).
Convênio nº 101/97 – CONFAZ	Isonção de Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) nas operações que envolvam inúmeros equipamentos utilizados para geração de energia elétrica por energia solar ou eólica (CONFAZ, 1997).	Ferreira <i>et al.</i> (2018); Pereira <i>et al.</i> (2016);
Decreto nº 5.025, de 30 de março de 2004	PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (BRASIL, 2004).	Aquila <i>et al.</i> (2016b); Araújo e Freitas (2008); Costa, Rovere e Assmann (2008); Ruiz, Rodríguez e Bermann (2007).
Lei nº 12.212, de 20 de Janeiro de 2010	A Tarifa Social de Energia Elétrica é caracterizada por descontos incidentes sobre a tarifa aplicável à classe residencial das distribuidoras de energia elétrica, sendo calculada de modo cumulativo de acordo com o consumo (BRASIL, 2010).	Pinto, Amaral e Janissek (2016).
Resolução Normativa nº 517, de 11 de dezembro de 2012, da	Compensação com o consumo de energia elétrica ativa da mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade da unidade consumidora onde os créditos foram	Pinto, Amaral e Janissek (2016); Rodrigues <i>et al.</i> (2016); ANEEL (2012d).

ANEEL	gerados (ANEEL, 2012d).	
Resolução Normativa nº 488, de 15 de maio de 2012, da ANEEL	Programa Luz para todos (ANEEL, 2012b).	Santos <i>et al.</i> (2018); Pereira <i>et al.</i> (2014); ANEEL (2012b).
Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, da ANEEL	Sistema de Compensação de Energia Elétrica para a Microgeração e Minigeração Distribuídas (ANEEL, 2012a).	Rocha <i>et al.</i> (2017); Silva <i>et al.</i> (2017); Castro (2016); Pereira <i>et al.</i> (2016); LACCHINI e RÜTHER (2015); Holdermann, Kissel e Beigel (2014); Olivieri <i>et al.</i> (2014); ANEEL (2012a).
Resolução Normativa nº 481, de 17 de abril de 2012, da ANEEL	Descontos nas tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição (TUST e TUSD), incidindo na produção e no consumo da energia comercializada. (ANEEL, 2012c).	Pinto, Amaral e Janissek, (2016); Rodrigues <i>et al.</i> (2016); ANEEL (2012c).
Resolução Normativa nº 77, de 18 de agosto de 2014, da ANEEL	Estabelece os procedimentos vinculados à redução das tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, para empreendimentos hidrelétricos e aqueles com base em fonte solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada (ANEEL, 2004).	Pinto, Amaral e Janissek (2016); Devienne Filho (2011); ANEEL (2004).
Convênio nº 16/15	Isenção nas operações internas relativas à circulação de energia elétrica, sujeitas a faturamento sob o Sistema de Compensação de Energia Elétrica de que tratam a Resolução Normativa nº 482, de 2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Estados com adesão: RN, CE, TO, BA, MA, MT, DF, A C, AL, MG, RJ, RS, RR, PA, MS, AP, ES, AM, PR e SC	Ferreira <i>et al.</i> (2018); Pereira <i>et al.</i> (2016); CONFAZ (2015).
Portaria nº 538, de 15 de dezembro de 2015	Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica – ProGD (MME, 2015b).	Gucciardi Garcez (2017); MME (2015b).
Resolução Normativa Nº 687, de 24 de novembro de 2015, da ANEEL.	Res. 687/2015. PRODIST (ANEEL, 2015) (i) autoconsumo remoto; (ii) Redução na espera para conexão em rede; (iii) Geração compartilhada e (iv) Geração em Condomínio.	Silva <i>et al.</i> (2017); ANEEL (2015); Lacchini e Rüter (2015).

Lacchini e Rüter (2015) comentam que as normativas podem ser consideradas um incentivo para produção e comercialização de energias alternativas.

Em uma pesquisa mais recente, Garcez (2017) ressalta a importância da consistência política, comenta que a falta de incentivos ou financiamentos

viáveis para projetos de pequena escala é um impedimento para a implementação de geração de energia de pequeno porte no Brasil.

2.1.4 Influência das políticas brasileiras nos investimentos

A eletricidade no Brasil é oriunda basicamente de uma única fonte de energia, as hidrelétricas, porém, o público consumidor está ciente de que apenas as hidrelétricas não podem oferecer a segurança energética para o país (SILVA, MARCHI NETO e SEIFERT, 2016).

Um ambiente político favorável e consciência da população são essenciais para o desenvolvimento de pesquisas em tecnologias para energias renováveis, com o intuito de torná-las mais competitivas. Uma estratégia de apoio para os fabricantes nacionais e investimentos em pesquisa e desenvolvimento são essenciais para a segurança do fornecimento de eletricidade, novas tecnologias e o meio ambiente (SILVA, MARCHI NETO e SEIFERT, 2016).

O aumento da participação da energia eólica no *mix* da matriz elétrica brasileira foi resultado de uma combinação de fatores relacionados ao ambiente externo, à tecnologia desenvolvida, assim como incentivos governamentais (SILVA, MARCHI NETO e SEIFERT, 2016).

Aquila *et al.* (2016) discutem sobre como as políticas de incentivo proporcionam estabilidade financeira e são responsáveis por reduzir a incerteza no mercado produtor. Os autores afirmam que é importante a participação do governo para melhoria de iniciativas existentes com políticas de curto prazo, como isenção e redução de impostos, principalmente os tributos relacionados a importação dos equipamentos.

Rocha *et al.* (2017) discutem que os incentivos a microgeração de energia são oportunos no Brasil, visto que a demanda de eletricidade nas últimas décadas aumentou nos setores industrial e residencial. Os autores mostram que com o crescimento de consumo global de energia, existe também o aumento do custo de energia, nesse cenário, a microgeração desempenha um papel importante na promoção de energia mais limpa em residências e comércios. Ilustrando tais discussões, no Quadro 2 foram apresentadas as principais políticas brasileiras.

Na normativa nº482 de 17/04/2012, a ANEEL (2012), estabelece as condições gerais para a microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação. Sendo a microgeração com potência instalada até 75kW que utilize cogeração qualificada ou fontes renováveis, e a minigeração distribuída com potência instalada superior a 75kW e inferior a 5MW. A cogeração qualificada segundo a ANEEL, é um atributo dos cogeneradores que atendem os requisitos mínimos da resolução normativa nº235 de 14/11/2016, contribuindo com a racionalidade energética, com o intuito de participação nas políticas de incentivo à cogeração.

Segundo as novas regras da ANEEL (2018), existe um crédito de energia, quando a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior à energia consumida, o consumidor fica com os créditos que podem ser utilizados para amortecer a faturas dos próximos meses, valendo por 60 meses, ou abater em faturas de outras unidades do mesmo titular.

Após a publicação da normativa 482/12, iniciou-se um processo lento de instalação de micro e minigeradores, que começou a acelerar de fato a partir de 2016, como pode ser visto na Figura 3, que mostra a evolução da potência instalada até o ano de 2017. Percebe-se que no final do ano de 2016 a potência instalada é 5 vezes maior que em 2015.

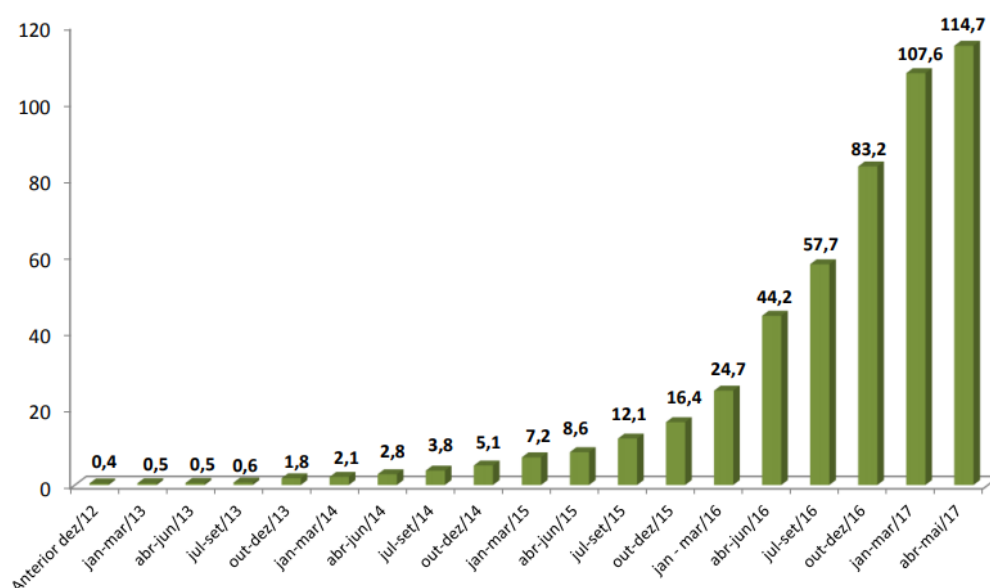


Figura 3- Evolução da potência instalada até 23/05/2017.

Fonte: Nota Técnica nº0056/2017 ANEEL (2017).

A ANEEL em 2015 fez alterações na normativa 482/12 com a Nota técnica nº0056/2017, o que possibilitou a instalação de geração distribuída em condomínios e comerciais. Pode-se observar que essa mudança possibilitou o aumento do número de consumidores com micro ou minigeração. E, segundo a Nota técnica nº0056/2017 da ANEEL (2017), o número registrado no final de 2016 é 4,4 vezes maior que no final de 2015.

Em relação à participação dos consumidores de micro e minigeração, é visto que 79,5% dos usuários são da classe residencial, seguido de 15% da classe comercial, como pode ser observado na Figura 4.

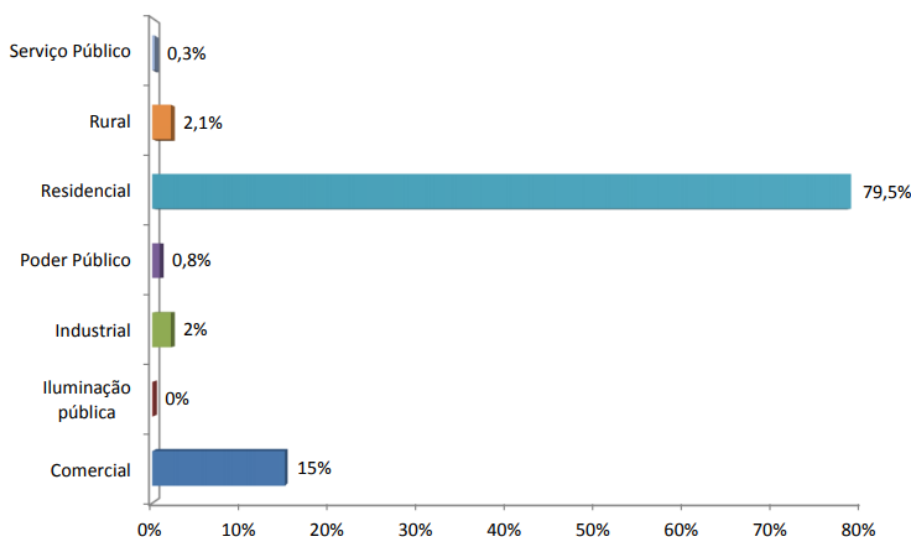


Figura 4- Classe de consumo dos consumidores até 23/05/2017.

Fonte: ANEEL (2017).

Moreira (2010) cita em seu trabalho as principais vantagens e desvantagens da implementação da microgeração, como pode-se observar no Quadro 3.

Como é visto no Quadro 3, o autor Moreira (2010) relata mais vantagens do que desvantagens, porém a barreira relacionada ao custo de investimento e às barreiras burocráticas, tornam a mini e microgeração menos atraentes para os investidores. O autor sugere que sejam realizados incentivos em relação ao investimento e nas facilidades burocráticas para implementar a tecnologia. Pereira (2011) comenta que a instalação de unidades de microgeração pode

trazer benefícios fiscais e redução da fatura de energia, tornando o investimento rentável ao final da amortização do investimento.

Quadro 3- Vantagens e desvantagens da microgeração.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Relacionadas ao meio ambiente Menor impacto nas emissões de CO ₂ ; Redução de Gases de efeito estufa.	Barreiras técnicas Problemas a nível de integração na rede, lacunas no nível de planejamento, recursos voláteis (solar, vento, entre outras).
Relacionadas ao sistema de energia Redução das perdas na rede de distribuição.	
Relacionadas à qualidade do serviço Continuidade do serviço de distribuição; Melhoria dos índices de confiabilidade do sistema global.	Barreiras econômicas Elevados custos de investimento inicial.
Relacionados à economia Crescimento de emprego e renda, via novas oportunidades de negócio (em todas as etapas da cadeia: produção, venda, instalação e manutenção); Redução com custos elétricos.	Barreiras burocráticas Integração do sistema de microgeração.

Fonte: Moreira (2010).

Santos *et al.* (2017) concluem que a energia eólica é considerada uma tecnologia emergente no Brasil, com grande potencial inexplorado. E mesmo, em alguns casos, a um custo maior quando comparado com tecnologias de combustíveis fósseis, como o carvão e o gás natural, as energias renováveis podem fornecer um sistema seguro, sem dependência, e ainda, promover um ambiente estrategicamente ecológico para gerar eletricidade.

De forma complementar, Pereira *et al.* (2016) discutem que os incentivos para a microgeração são claros: reduz perdas, postergando investimentos na expansão dos sistemas de distribuição e transmissão; impacto ambiental é reduzido; matriz energética melhorada e competitividade econômica.

Autores como Sauter e Watson (2007) mostraram que as tecnologias de microgeração precisam de mais aceitação social. E, a aceitação envolve os setores público e privado, tanto o uso residencial, comercial e industrial. Hanna, Leach e Torriti (2018) concluem que uma política consistente para apoiar o desenvolvimento da microgeração, permitindo uma implantação mais ampla das tecnologias, pode tornar a microgeração competitiva.

Por fim, Castro (2016) comenta que a microgeração enfrenta muitas dificuldades no Brasil para uma expansão, incluindo a falta de opções de financiamento apropriadas no mercado, imposto sobre os equipamentos (aumenta o custo de investimentos) e poucos equipamentos são certificados. O autor conclui que a ANEEL tem uma oportunidade de aumentar os números de consumidores comerciais com a microgeração, trazendo impactos positivos para o Brasil.

2.2 ANÁLISE DE INVESTIMENTO

A análise de investimento envolve decisões a serem tomadas em um ambiente de recursos escassos, em determinado prazo com o intuito de proporcionar ganhos ao investidor. Dessa forma, a análise de investimentos busca, por meio de técnicas avançadas, uma solução eficiente para uma decisão compensadora (MOTTA e CALÔBA, 2002).

A decisão de investimento é considerada complexa, pois envolve inúmeros fatores dos quais o tomador de decisão nem sempre tem domínio, o que pode afetar a decisão. Com o intuito de se conhecer os possíveis resultados de um investimento foram desenvolvidos metodologias e indicadores para avaliação de investimentos (MONTINI, 2015).

No caso da análise de viabilidade de projetos que envolvem fontes renováveis de energia, os critérios de maior ocorrência na literatura são o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa interna de Retorno (TIR) e o *Payback* (ROCHA *et al.*, 2018; RODRIGUES, CHEN e MORGADO-DIAS, 2017; AQUILA *et al.*, 2016; ASUMADU-SARKODIE e OWUSU, 2016; TAO e FINENKO, 2016; GRIESER, SUNAK e MADLENER, 2015; HOLDERMANN, KISSEL e BEIGEL, 2014; CHAKRABARTY, BOKSH e CHAKRABORTY, 2013; LI, LU e WU, 2013; ERTÜRK, 2012).

Assim, Santos *et al.* (2014) discutem que nenhum dos métodos de avaliação é considerado absoluto, nem considera que a avaliação dos investimentos é uma ciência exata. No entanto, isso não significa que não há necessidade de procurar métodos de avaliação que considerem as características de investimento, incertezas e flexibilidade de gerenciamento.

2.2.1 Análise de viabilidade econômica da geração de energia a partir de fontes renováveis

Com a crise energética mundial e a preocupação com a disponibilidade de energia, muitos países adotam estratégias a longo prazo com o intuito de incentivar a produção de energia através de fontes renováveis. Muitas pesquisas acadêmicas vêm surgindo tendo este viés científico, estudando o

impacto dessas políticas e a viabilidade técnica e econômica desse tipo de investimento.

Holdermann, Kissel e Beigel (2014), em seus resultados do estudo da viabilidade econômica, demonstram que atualmente os sistemas fotovoltaicos não são economicamente viáveis em nenhuma das 63 redes de distribuição no Brasil. Os autores mostram que a introdução de opções de financiamento pode tornar viável o investimento, tanto nos setores comerciais quanto residencial.

Ferreira *et al.* (2018) demonstram os principais aspectos da evolução dos incentivos para uso da energia solar no Brasil. Comentam que para geração distribuída, seu nível de competitividade é definido a partir das tarifas de distribuição de energia oferecidas ao consumidor final, com essa comparação de valores, os autores afirmam que a energia solar está próxima da viabilidade econômica. Ainda, é discutido, que o desenvolvimento de linhas de crédito específicas para geração de energia solar é vital para uma entrada expressiva dessa fonte na matriz elétrica brasileira.

Rocha *et al.* (2017) realizaram uma análise de viabilidade de uma instalação fotovoltaica de pequena escala em quatro cidades no Brasil, realizaram análise estocástica utilizando SMC para analisar o VPL. Nas quatro cidades analisadas, a microgeração apresentou inviabilidade econômica quando o ICMS é cobrado, com a probabilidade de viabilidade variando entre 0% e 8,79%. Na política de isenção do ICMS, as probabilidades de viabilidade foram 23,27%, 56,66%, 81,49% e 94,70%, o projeto sendo viável na maior parte das regiões. Os autores concluem que o subsídio do ICMS irá fornecer apoio para a produção de energia mais limpa.

Li, Lu e Wu (2013) utilizaram a SMC para simular o VPL de um determinado projeto de energia eólica no norte da China, além de analisarem o *payback* e a TIR do projeto. Os autores mostram como resultados que: sob qual circunstância o projeto não considera a venda de créditos de carbono), poucos VPL estão acima de zero, *payback* com menos de 22 anos e TIR acima de 7% (a taxa mínima de atratividade considerada), mostrando o alto risco de investimento. Ainda, os autores mostram que, para reduzir o risco do investimento, políticas de apoio do governo devem ser implementadas.

Abdelhady, Borello e Santori (2015) realizaram uma avaliação técnica e econômica para a geração de eletricidade com oito pequenas turbinas eólicas

em 17 regiões distintas do Egito. Os autores avaliaram o VPL e o *payback* com base na produção anual de energia pelas turbinas eólicas. Os resultados mostram que, apesar das velocidades de ventos serem altas nos locais selecionados, as pequenas turbinas eólicas não são economicamente viáveis. Recomenda-se a adoção de turbinas com potência nominal superior a 200kW.

Ertürk (2012) realizou uma análise estocástica da viabilidade para analisar o potencial de energia eólica *onshore* na Turquia. O autor mostrou que, com base na atual estrutura regulada e na estrutura de custos para investir em energia eólica na Turquia, tendo uma velocidade vento acima de 7,5 m/s, o investimento é atraente, tendo uma probabilidade de 90% do VPL ser positivo. Foi concluído também, que se for levada em consideração a característica de intermitência do vento, o sistema elétrico turco não pode compensar a capacidade eólica instalada de mais de 13MW instalada no curto e médio prazo.

Hosseinalizadeh *et al.* (2017) realizaram uma análise de viabilidade de pequenas turbinas eólicas em várias regiões do Irã, mostrando que, em 30% das regiões, as pequenas turbinas eólicas são viáveis. Os resultados deste estudo mostraram que as turbinas eólicas com capacidade menor ou igual a 3kW são as turbinas mais apropriadas para uso residencial. Por fim, os autores concluíram que as pequenas turbinas eólicas são rentáveis em muitas regiões do Irã e apropriadas para o desenvolvimento da energia eólica no setor residencial.

Grieser, Sunak e Madlener (2015) mostram que ferramentas precisas e confiáveis são essenciais para avaliar o potencial econômico e as perspectivas de mercado. Os autores comentam que o VPL é o método para análise de investimento mais utilizado, e discutem sobre suas limitações. Foi descoberto que atualmente os investimentos em pequenas turbinas eólicas na Alemanha são economicamente viáveis em áreas expostas à 4 e 4,5 m/s de velocidades médias mínimas. Em sua análise de sensibilidade é visto que uma ligeira variação na velocidade do vento afeta substancialmente o VPL, e como consequência a decisão de investimento.

Considerando as incertezas inerentes à geração de energia, Montes *et al.* (2011) demonstraram que a simulação de Monte Carlo representa uma excelente abordagem para o gerenciamento de risco econômico em projetos de

energia eólica, e para isso analisaram a rentabilidade de projetos eólicos na Espanha. Inicialmente os autores realizaram análise determinística, posteriormente utilizaram SMC para encontrar distribuições de probabilidade para o VPL e a TIR a partir de variáveis de entrada aleatórias. Concluíram que a SMC é um instrumento extremamente competente para testar diferentes cenários, o que é necessário quando os investimentos são altamente complexos.

Aquila *et al.* (2017) apresentam um *framework* para análise de investimentos em geração de energia eólica sob incerteza usando simulação de Monte Carlo. Os autores utilizam da SMC para análise estocástica, e analisam o comportamento do VPL para as variáveis que são estudadas, e quais mais impactam no VPL. Na análise determinística o projeto apresenta alta viabilidade econômica nos três cenários apresentados. Na análise estocástica, o projeto mostra alta probabilidade de viabilidade econômica, principalmente se ocorrerem empréstimos do BNDES.

Já Aquila *et al.* (2016b) analisaram o impacto de estratégias de incentivo no risco financeiro de projeto de energia eólica no Brasil. O estudo apresenta uma análise estatística com o intuito de facilitar a comparação do risco considerado nos diferentes cenários analisados. Os autores consideraram dois ambientes, contratação livre e contratação regulada, e seus resultados mostraram que no ambiente de contratação livre o projeto eólico provavelmente terá maior probabilidade de viabilidade em todos os cenários 96,36%, 97,70% e 98,50%. Comparando os cenários nos dois ambientes, os autores mostraram que quando o risco é maior, pode gerar retornos mais altos. Concluíram também, que a venda de créditos de carbono não é uma política adequada para fornecer segurança financeira aos produtores de energia renovável.

Por fim, Aquila *et al.* (2016b) discutem que a análise de investimento tem sido usada para medir o impacto de estratégias de incentivo para fontes de energia renováveis, comprovando a importância da análise econômica. Utilizaram o critério de decisão do VPL, e os diversos fatores de risco que afetam o resultado foram considerados como variáveis aleatórias.

2.2.2 Valor Presente Líquido (VPL)

Para Walters e Walsh (2011), fazer uma abordagem *ex-ante* (feita antes do projeto ser implementado e executado), para determinar a atratividade econômica de um projeto, irá fornecer informações sobre quanto tal investimento poderá fornecer benefícios a um possível investidor. Existem diversos trabalhos na literatura (GRIESER, SUNAK e MADLENER, 2015; HOLDERMANN, KISSEL e BEIGEL, 2014; WALTERS e WALSH, 2011; MONTES *et al.*, 2011 e ERTÜRK, 2012) que realizam a análise de viabilidade econômica de projetos relacionados a geração de energia utilizando o critério de decisão do Valor Presente Líquido (VPL). Para Brighton e Houston (2007), citado por Walters e Walsh (2011), a vantagem principal do VPL é demonstrar o quanto o capital investido inicialmente será impactado pelo projeto.

O Método do Valor Presente Líquido consiste em transferir para o instante atual todas as variações de caixa esperadas, descontadas a uma determinada taxa de juros, e somá-las algebricamente (NETO, 2006; MOTTA e CALÔBA, 2002). Então, o VPL é calculado a partir da Equação 1.

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

No qual:

n é o tempo do projeto em anos;

i é a taxa mínima de atratividade ou taxa de desconto;

t é o período de tempo a ser analisado;

FC_t representa o fluxo de caixa líquido no período t .

Um investimento é rentável quando o seu VPL é maior que zero, e quanto maior o VPL, melhor o investimento (CHAKRABARTY, BOKSH e CHAKRABORTY, 2013).

A taxa de desconto representa a taxa de retorno que pode ser obtida no mercado financeiro para um investimento similar com risco comparável. A taxa de retorno necessária para um determinado investimento depende do risco associado ao investimento específico e da taxa de retorno sobre investimentos com risco comparável (PŠUNDER e CIRMAN, 2011). Outros autores fazem

uma discussão mais aprofundada sobre o cálculo desta taxa, como será apresentado mais a frente.

O VPL indica se o valor presente da receita líquida excede a despesa inicial do investimento. O VPL é calculado como a soma de todos os valores presentes das receitas e de todos os valores atuais das despesas (RUTTEN *et al.*, 2014). Com o método do Valor Presente Líquido, o investimento inicial é comparado ao valor presente dos fluxos de caixa futuros associados ao projeto de investimento. O momento do investimento inicial é o ponto em que os valores presentes dos fluxos de caixa futuros são descontados; por esse motivo, o investimento inicial não está sujeito a desconto (PŠUNDER e CIRMAN, 2011), desde que este se dê apenas na data 0.

Johnson (1994) descreve a utilização do método do VPL como sendo o mais comumente utilizado, pois é de fácil compreensão, convincente e prático, além de abrir discussões mesmo entre aqueles que possuem pouco conhecimento sobre análises de investimento.

Hawawini e Viallet (2009) ressaltam que, embora o critério do VPL possa ser ajustado para qualquer situação, como na comparação de dois projetos de tamanhos ou durações diferentes, em outras situações os ajustes necessários podem ser complicados para poderem ser operacionalizados. Tal problemática surge pelo fato de que o critério é definido por uma regra de aceitação ou rejeição que se baseia nas informações em que o VPL é estimado.

Segundo os autores Bruni e Famá (2007), Frezatti (2008), Walters e Walsh (2011), Aquila *et al.* (2016b), as vantagens do uso do VPL são: considera o custo de capital, considera o risco embutido no custo de capital e informa o valor da empresa. Porém, como o resultado é monetário, pode dificultar a análise do projeto e estar sujeito a determinação da taxa mínima de atratividade (taxa de desconto).

Finalmente, o método do VPL é admitido como o mais seguro e adequado tecnicamente em relação a TIR, já que se menciona que a riqueza de um investimento é melhor mensurada em valores absolutos, e não em valores relativos (AQUILA *et al.*, 2016b; CUNHA, MEDEIROS e WANDER, 2014; CHAKRABARTY, BOKSH e CHAKRABORTY, 2013).

2.2.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A taxa interna de retorno (TIR) é a taxa de desconto que faz o valor presente de benefícios futuros igual ao valor presente de quaisquer custos, fazendo com que o VPL seja igual a zero (CHAKRABARTY, BOKSH e CHAKRABORTY, 2013), e pode ser calculado pela Equação 2, apresentada a seguir:

$$VPL = 0 = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} \quad (2)$$

No qual:

I representa o investimento inicial;

n é o tempo do projeto em anos;

t é o período de tempo a ser analisado;

FC_t representa o fluxo de caixa líquido no período t .

Na avaliação da TIR, o projeto é economicamente viável se TIR for maior do que a TMA, caso contrário é inviável. Quando a TIR é igual a TMA, é indiferente investir ou deixá-los rendendo juros à taxa mínima de atratividade. Uma TIR alta indica que a oportunidade de investimento é favorável e deve ser maior do que uma taxa de juros ou desconto (DALTON, ALCORN e LEWIS, 2010). Além disso, a análise permite uma comparação entre locais sem considerar as taxas de desconto regionais (RODRIGUES, CHEN e MORGADO-DIAS, 2017).

A TIR é simplesmente definida como a taxa de desconto na qual o VPL é zero. Esta porcentagem é um indicador do retorno anual do capital investido ao longo do tempo de vida do investimento (RUTTEN *et al.*, 2014). A taxa de retorno interna indica o retorno do negócio, de acordo com retorno alternativo, que pode ser obtido no mesmo investimento (DALTON, ALCORN e LEWIS, 2010).

Segundo os autores Bruni e Famá (2007) e Frezatti (2008), a TIR possui um resultado em forma de taxa, o que facilita a análise. As teorias das finanças corporativas consideram o uso do método VPL e TIR como complementares, e é bastante utilizado o uso dessa combinação (TAO e FINENKO, 2016).

Por fim, Tao e Finenko (2016) discutem algumas falhas da TIR, como a que a TIR não mede o tamanho absoluto do investimento e sua função é indefinida se houver fluxos de caixa negativos após um período positivo. Em contrapartida, pode ser sub ou superestimada, sendo necessário outro indicador financeiro para análise em conjunto, como pode ser visto em vários trabalhos que a utilizam em conjunto com VPL (RODRIGUES, CHEN e MORGADO-DIAS, 2017; LI, LU e WU, 2013; DALTON, ALCORN e LEWIS, 2010).

2.2.4 Payback

O *Payback* é definido como o ano em que os fluxos de caixa acumulados se tornam positivos. Não há uma regra de decisão absoluta para o retorno, e, portanto, este método de avaliação é tipicamente usado como uma métrica secundária complementar (TAO e FINENKO, 2016).

O período de *Payback* de um projeto é descrito como o número de períodos necessários para que as somas dos fluxos de caixa esperados pelo projeto se igualem ao valor desembolsado inicialmente. De acordo com a regra do *Payback*, um projeto é economicamente viável quando seu período de *Payback* for mais curto do que o número de períodos estipulado, este denominado período de corte (HAWAWINI e VIALLET, 2009). Ao contrário do VPL e da TIR, o *Payback* não possui uma regra de decisão absoluta para o retorno do investimento e, portanto, é tido como um método de avaliação secundário (TAO; FINENKO, 2016).

2.2.4 Cálculo da taxa de desconto utilizando o WACC (*Weighted Average Capital Cost*)

A taxa de desconto deve refletir o custo de oportunidade, que depende do perfil de risco do investimento, e em ambientes corporativos é comumente utilizado o custo médio ponderado de capital (WACC- *Weighted Average Capital Cost*) (TAO; FINENKO 2016).

De acordo com Hawawini e Viallet (2009), o custo médio ponderado de capital (WACC) é o método utilizado para quantificar a taxa de retorno esperada pelos investidores a ser utilizada nos métodos de análise de fluxo de

caixa, à exemplo do Valor Presente Líquido (VPL) e da Taxa Interna de Retorno (TIR). Neste âmbito, Ross, Westerfield e Jordan (2002), evidenciam o custo de capital da empresa como sendo igual à média ponderada dos custos dos componentes de sua estrutura de capital. Ainda, segundo os mesmos autores, o WACC é a taxa a ser descontada do fluxo monetário da instituição, e dessa forma, quanto menor o custo médio ponderado de capital, maior será o valor da empresa.

Neste contexto, Reichelstein e Yorston (2013) e Tao e Finenko (2016) afirmam que esta taxa de desconto deve refletir o custo de oportunidade que varia de acordo com o risco do investimento, de modo que taxas de descontos uniformes não representam com precisão os riscos e a necessidade real de retorno intrínseca a cada investimento.

O WACC é utilizado como taxa de desconto dentro dos modelos que utilizam análise de viabilidade financeira em projetos de energia renovável, e pode ser calculado por meio da Equação 3 (AQUILA *et al.*, 2016b; TAO e FINENKO, 2016; ERTÜRK, 2012).

$$WACC = k_d D(1 - \tau) + k_e E \quad (3)$$

No qual:

k_d representa o custo de capital de terceiros;

D é definido como o peso da dívida aplicada ao investimento;

τ é a alíquota de imposto de renda;

k_e é o custo do capital próprio;

E é definido como o peso do capital próprio no investimento.

O custo de capital de terceiros (k_d) pode ser calculado utilizando a Equação 4, como proposto por Aquila *et al.* (2016b) e Ertürk (2012).

$$k_d = R_f + pRisk + R_b \quad (4)$$

No qual:

R_f indica a taxa livre de risco;

$pRisk$ representa o prêmio de risco da dívida;

R_b indica o prêmio de risco país.

Para o cálculo do custo do capital próprio (k_e), Rocha *et al.* (2018), Aquila *et al.* (2016b) e Ertürk (2012) sugerem o Modelo de Precificação de Ativos de Capital – *Capital Asset Pricing Model* (CAPM), proposto por Sharpe (1964), como pode ser visto na Equação 5:

$$k_e = CAPM = R_f + \beta_a(R_m - R_f) + R_b \quad (5)$$

No qual:

R_f representa a taxa de retorno dos ativos livres de risco;

R_m indica a taxa de retorno do mercado;

R_b representa o prêmio risco Brasil;

β_a risco beta da ação.

Rocha *et al.* (2018) avalia o beta alavancado com base no beta desalavancado para o setor de energia renovável, como pode ser visto na Equação 6.

$$\beta_a = \beta_d \left[1 + \frac{D_p}{E_p}(1-t) \right] \quad (6)$$

No qual:

β_a é o valor do beta alavancado;

β_d é o valor do beta desalavancado;

D_p representa a proporção de capital de terceiros sobre o financiamento do projeto;

E_p representa a proporção de capital próprio sobre o financiamento do projeto;

τ é a alíquota de imposto.

Copeland (2000) sugere que, uma das formas para o cálculo da taxa livre de risco, seja utilizado a taxa dos títulos dos últimos 10 anos do Tesouro dos EUA, pois se trata de uma taxa de longo prazo que, no geral, fica muito próxima do fluxo de caixa das empresas que estão sendo avaliadas. Além disso, esta duração de 10 anos se aproxima do portfólio usual das empresas.

Adicionalmente, Ross, Westerfield e Jordan (2002), indicam que para o cálculo do custo de capital de terceiros as taxas das dívidas adquiridas pela empresa são irrelevantes, pois apenas mostram qual o coeficiente do custo do capital de terceiros na época em que foram adquiridas e não qual o seu coeficiente na data atual.

O cálculo do WACC é de extrema importância e alguns estudos na literatura já demonstram isso, como o de Ondraczek, Komendantova e Patt (2013), que argumentam que o WACC influencia o custo da energia solar fotovoltaica mais fortemente do que a irradiação solar. Schmidt, Born e Schneider (2012) comentam a importância de taxas de desconto realistas. Em seus estudos, incluíram as variações na taxa de retorno patrimonial em sua análise do custo de projetos eólicos e solares para o Brasil, Egito, Índia, Quênia, Nicarágua e Tailândia. Os autores Aquila *et al.* (2017) e Rocha *et al.* (2018) utilizam o método do WACC para calcular a taxa de desconto em seus projetos de viabilidade econômica para projetos de energia eólica.

2.3 ANALISE DE SENSIBILIDADE E A SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

2.3.1 SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

A simulação de Monte Carlo (SMC) é utilizada em modelos envolvendo eventos probabilísticos, aplicável em problemas onde existe incerteza. É uma ferramenta prática para avaliações de incerteza (SCHWENKE, SIEBERT e KUNZMANN, 2000). A SMC compara resultados como funções de múltiplos insumos incertos, cada um expresso como uma distribuição de probabilidade, que podem assumir várias formas funcionais diferentes (SPINNEY e WATKINS (1996).

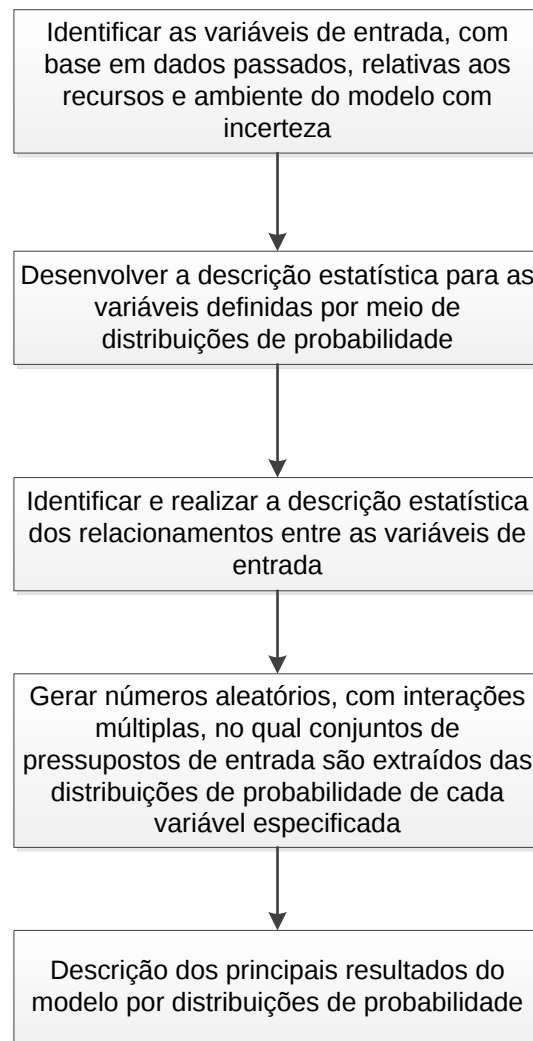


Figura 5- Fluxograma do modelo de SMC.

Fonte: Baseado em Saraiva Júnior, Tabosa e Costa (2011) e Spinney e Watkins (1996).

A SMC gera valores artificiais de uma variável probabilística usando um gerador aleatório de números uniformemente distribuídos em um intervalo, e também usando a função de distribuição cumulativa associada a uma variável estocástica (PLATON e CONSTANTINESCU, 2014). Os autores ainda afirmam que é um método relativamente fácil de executar, e que fornece informações sobre os riscos de projetos de investimento.

Momem *et al.* (2016) realizaram um estudo para lidar com as incertezas econômicas no projeto de sistemas de cogeração, e foi sugerido que o método de Simulação de Monte Carlo poderia ser aplicado para prever flutuações futuras em parâmetros econômicos com base em tendências. Os autores comentam que a SMC fornece mais *insights* sobre a viabilidade econômica do

projeto e que a simulação possui vantagens em sistemas complexos e realistas, com mais incertezas.

Montes *et al.* (2011) realizaram um estudo sobre a aplicabilidade das técnicas de Simulação de Monte Carlo na análise de rentabilidade de projetos de parques eólicos. Inicialmente, realizaram a análise em condições que não envolvem incertezas. Em seguida, foi realizada a análise de risco, considerando a velocidade do vento e o preço de mercado da energia como variáveis aleatórias. Os autores concluem que o método de SMC é uma abordagem extremamente competente em termos de risco econômico de projetos de parques eólicos.

Li, Lu e Wu (2013) comprovam a eficácia da SMC na análise de risco de investimento em projeto de energia eólica. Ainda, afirmam que os riscos podem ser mitigados, mostrando que utilizar o método para analisar VPL, TIR ou outro indicador financeiro, pode ser aplicado para estimar o risco do investimento de projetos de energia.

Kitzing (2014) criou modelos de fluxos de caixa para um parque eólico marítimo, utilizou SMC e análise de sensibilidade para quantificar as relações risco-retorno para um parque eólico. Xue *et al.* (2015), por meio do mesmo método, tiveram como objetivo detalhar os resultados da avaliação do ciclo de vida em projetos de energia renovável, e realizaram uma análise de sensibilidade, a fim de melhorar a confiabilidade da avaliação.

Arnold e Yildiz (2015) utilizam o método como ferramenta para avaliar o risco de um investimento em fontes de energia renováveis. Os autores demonstram que SMC gera informações substanciais com relação ao risco do projeto que é relevante para investidores, credores e viabilidade de financiamento.

Rocha *et al.* (2018) realizam um estudo sobre a viabilidade econômica de geração de energia eólica considerando três cenários diferentes, para uso residencial, usando o método de SMC. Com a utilização deste, foi possível verificar a probabilidade de viabilidade do projeto. Em seus resultados, foram considerados três cenários alta, baixa e média velocidade do vento, com probabilidade de viabilidade de 22,04%, 1,51% e 15,06% respectivamente. Esses resultados indicam que a energia eólica residencial tem baixa probabilidade de viabilidade mesmo em alta velocidade.

Ainda, Rocha *et al.* (2018) mostraram que os resultados da análise de sensibilidade para cenários de baixa e média velocidade, o investimento é crucial para que o projeto seja financeiramente atraente. Os autores concluem que a baixa viabilidade dos projetos indica que políticas são necessárias para a disseminação da microgeração de energia eólica.

Aquila *et al.* (2017) também utilizam a simulação de Monte Carlo, realizam o estudo sobre a viabilidade econômica de produtores de energia com a energia eólica considerando ambientes de incerteza e risco. As incertezas foram incorporadas às variáveis, e a SMC foi realizada para verificar o VPL para os três cenários considerados.

Em uma outra proposta, Aquila *et al.* (2016b) analisaram o impacto do incentivo de estratégias sobre o risco financeiro de projetos de usinas de geração de energia eólica, com a avaliação do impacto do financiamento do BNDES. Os autores utilizam SMC para análise de investimento do projeto. Ainda, discutem que a SMC é usada também para fornecer o impacto das incertezas das variáveis nos resultados.

O modelo de análise determinística estabelece um conjunto de variáveis de entrada, relatadas para um conjunto de variáveis de saída. De modo distinto, no modelo estocástico, as variáveis são randomizadas (descritas por uma distribuição aleatória) e o resultado também será aleatório, geralmente seguindo o princípio básico da SMC (PLATON e CONSTANTINESCU, 2014).

A simulação de Monte Carlo oferece uma ferramenta de simulação flexível com muitos aspectos realistas, refletindo vários tipos de soluções ou projetos sob incerteza (YUAN, 2009). Aquila (2015) sugere que seja realizada uma análise de sensibilidade com o intuito de verificar os parâmetros de entrada com mais relevância nos resultados das análises.

2.3.2 REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Haykin (2008) define Redes Neurais Artificiais (RNA) como um processador paralelamente distribuído, constituído de unidades de processamento simples, que tem a propensão natural para armazenar conhecimento experimental e torná-lo disponível. O autor comenta que o conhecimento é adquirido através de processos de aprendizagem e os pesos sinápticos (similares a conexão entre neurônios) são utilizados para armazenar

o conhecimento adquirido. Os valores dos pesos sinápticos não possuem nenhum valor para análise, individualmente não apresentam nenhuma representatividade e não permitem nenhuma leitura (CHAKRABARTY, BOKSH E CHAKRABORTY, 2013). Haykin (2008) representa um modelo não-linear de um neurônio através da Figura 6.

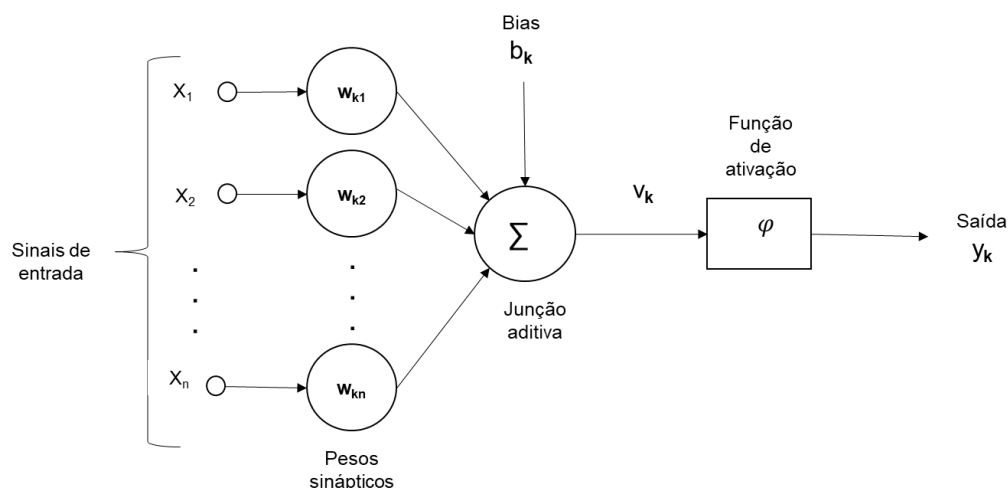


Figura 6- Modelo não-linear de um neurônio.
Fonte: Haykin (2008).

Kalogirou (2001) definiu as RNA como coleções de pequenas unidades de processamento individualmente interconectadas, no qual a informação é passada entre essas unidades de interconexão. As RNA foram inspiradas pelo sistema nervoso biológico, consistem em um grupo de unidades chamadas “neurônios” que são análogas aos neurônios nervosos, conectados um com os outros através de pesos sinápticos (VELÁZQUEZ, CARTA e MATIAS, 2011). Kalogirou (2001) descreve que uma conexão de entrada tem dois valores associados, um valor de entrada e um peso, e a saída da unidade é uma função do valor somado.

Haykin (2008) mostra que uma rede neural tem o poder de generalizar, a partir de sua estrutura e habilidade de aprender, possibilitando resolver problemas altamente complexos que são intratáveis. Haykin (2008) discute sobre as propriedades e capacidades do uso de redes neurais, abordadas no Quadro 4.

Quadro 4- Propriedades redes neurais artificiais

Propriedades/capacidades	Descrição
--------------------------	-----------

Não-linearidade	Um neurônio artificial pode ser linear ou não-linear. A não linearidade é uma propriedade importante, particularmente se o mecanismo físico responsável pela geração do sinal de entrada for inerentemente não-linear.
Mapeamento de Entrada-Saída	A rede aprende a partir de exemplos de tarefas (entrada única e saída desejada), que envolve a modificação dos pesos sinápticos, e a partir disso a construção de um mapeamento de entrada-saída para o problema considerado.
Adaptabilidade	Capacidade de adaptar seus pesos sinápticos a modificações do meio ambiente, pode ser facilmente <i>retreinada</i> para lidar com pequenas condições operativas do ambiente. As constantes de tempo principais do sistema precisam ser grandes o suficiente para que o sistema ignore pequenas perturbações, mas suficientes para responder a mudanças significativas, deixando o sistema robusto o suficiente.
Resposta a Evidências	A rede neural precisa ser projetada para fornecer informação sobre o padrão particular selecionado, assim como sobre a confiança ou crença na decisão tomada, rejeitando padrões ambíguos e melhorando o desempenho de classificação da rede.
Informação contextual	O conhecimento é representado pela própria estrutura e estado de ativação de uma rede neural.
Tolerância a falhas	Devido à natureza distribuída da informação armazenada na rede, a rede neural pode continuar a responder de forma aceitável se for danificada. Para assegurar a tolerância a falhas pode ser necessário medidas corretivas no projeto do algoritmo utilizado.
Implementação em VLSI	VLSI (<i>very-large-scale-integration</i>) fornece um meio de capturar comportamentos realmente complexos de uma forma altamente hierárquica.
Uniformidade de análise e projeto	Os neurônios representam um ingrediente comum a todas as redes neurais, tornando possível compartilhar teorias e algoritmos de aprendizagem. Redes modulares podem ser construídas através de uma integração homogênea de módulos.
Analogia neurobiológica	O processamento paralelo de informações tolerante a falhas é rápido e poderoso. Os neurobiólogos utilizam RNA como ferramenta de pesquisa para a interpretação de fenômenos neurobiológicos, e os engenheiros procurando novos métodos para resolver problemas mais complexos.

Fonte: Haykin (2008).

As RNAs não precisam de um modelo matemático rígido, e os parâmetros de calibração podem ser desenvolvidos usando dados por meio de treinamento ou processo de aprendizado (BOLANCA *et al.*, 2017). A modelagem de RNA é realizada em duas etapas, o primeiro passo é treinar a rede e o segundo passo é testar a rede com dados (OZGUR, 2014). O sistema precisa treinar em um conjunto de dados de entrada, conhecido como conjunto de dados de treinamento (SINGH, 2016).

Existem várias arquiteturas neurais, a mais amplamente utilizada em aplicações de engenharia é a rede neural multicamadas, que consiste em uma camada de entrada, uma camada de saída e uma camada oculta. Haykin

(2008) representa um grafo de modelo visto na Figura 7. As camadas de entrada e saída representam as variáveis de entrada e saída do modelo, e as camadas ocultas mantêm a capacidade da rede de aprender as relações não-lineares entre as variáveis de entrada e saída (OZGUR, 2014).

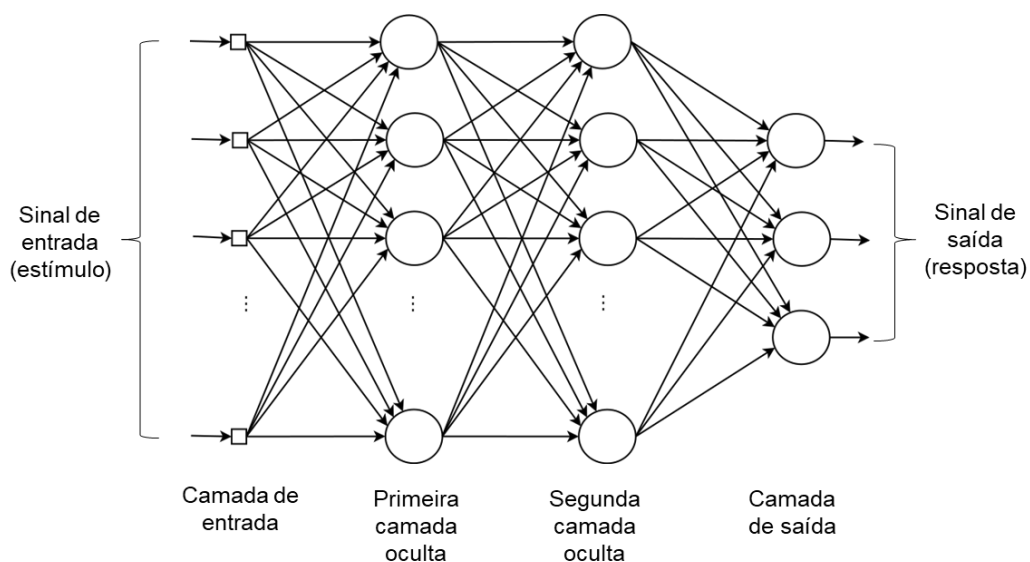


Figura 7- Grafo de modelo.
Fonte: Haikyn (2008)

As RNA de multicamada, abordagem *Multi Layer Perceptron* (MLP), tem sido aplicada com sucesso para a resolução de problemas complexos, por meio do treinamento supervisionado por um algoritmo de retropropagação de erro, baseado na regra de aprendizagem por correção de erro (HAYKIN, 2008). A rede neural multicamadas consiste em pelo menos três camadas: entrada, saída e camada oculta.

Existe uma estrutura de RNA conhecida como a rede de *feed-forward* de múltiplas camadas, que consiste em um algoritmo de aprendizagem de propagação, onde cada camada de nós recebe entradas das camadas anteriores (CAMELO *et al.*, 2018). Uma RNA com algoritmos *feed-forward* aprende mudando os pesos das conexões, e essas mudanças são armazenadas como conhecimento. Bolanca *et al.* (2017) utilizaram uma RNA *feed-forward* de três camadas para a correlação em seus estudos.

As principais vantagens da RNA em comparação a outros sistemas especialistas são a velocidade, a simplicidade e a capacidade de modelar um problema multivariado para resolver relações complexas entre as variáveis e

extrair as relações não lineares por meio de dados de treinamento (VELÁZQUEZ, CARTA e MATIAS, 2011). A metodologia de RNA é mais robusta (ou seja, não requer um alto nível de julgamento do operador), e usa um sofisticado modelo não linear para alcançar um alto desempenho de classificação (BISSACOT *et al.*, 2016).

2.3.2.1 Aplicações de RNA em FER

Redes neurais artificiais têm sido utilizadas em aplicações sobre desenvolvimento sustentável no setor energético em termos de produção e uso de energia. Kennedy, Dinh e Basu (2016) mostraram a aplicação de RNAs no reconhecimento de padrões e interpretaram sua influência na previsão do comportamento do cliente em relação à escolha tecnológica. Redes neurais artificiais apresentam uma solução ideal para resolver muitos problemas em muitas aplicações de sistemas elétricos como controle, identificação e classificação (MOKHTAR, 2016).

Yan, Abbes, Francois (2017) utilizaram RNA levando em consideração a incerteza da previsão em sistemas fotovoltaicos. E, para avaliar a incerteza, utilizaram três camadas para estimar erros de previsão de carga e energia. Karabacak e Cetin (2014) discutiram aplicações de RNAs em sistemas de energia renovável, como fotovoltaica, energia eólica e sistemas híbridos. Os autores mostram que para a energia solar, os estudos se baseiam na previsão da irradiação solar e dimensionamento de sistemas de energia. Mokhtar (2016) realizou uma aplicação para o controle e análise de um gerador fotovoltaico e a energia reativa no sistema de geração, propondo um modelo razoável de sistema de geração.

As RNAs têm a capacidade de aprendizado, são orientadas por dados e possuem alta precisão de predição se comparadas a outros métodos. Por esses motivos tornaram-se métodos alternativos às técnicas convencionais em diversas aplicações de energia solar (CHITEKA e ENWEREMADU, 2016). Chiteka e Enweremadu (2016) desenvolveram um modelo de RNA que pode ser usado como ferramenta eficiente para prever a radiação solar sem equipamentos de medição direto. Bou-Rabee *et al.* (2017) desenvolveram um modelo de previsão baseado em RNA para prever a radiação solar média diária em cinco locais diferentes e possuíam arquiteturas *feed-forward*. Os resultados

mostraram que o modelo é preciso, aplicável e com eficiência de 94,75%. O modelo desenvolvido foi direcionado para ser uma ferramenta de avaliação para prever a instalação de energia solar e estimar a quantidade de energia que pode ser aproveitada.

Já Dervilis (2014), utiliza RNA em métodos de reconhecimento de padrão no campo de energia eólica. Manobel *et al.* (2018) utilizam um método baseado em RNA para calcular a curva de potência de qualquer turbina eólica que depende de um grupo mínimo de variáveis de entrada, como, por exemplo, velocidade do vento e direção do vento. Os autores concluíram que a combinação da filtragem de processos Gaussianos com modelagem RNA oferece um método automático e preciso para calcular a curva de potência, com economias subsequentes de recursos quando comparada com a filtragem manual e outros métodos paramétricos e não paramétricos.

Em seu estudo, Singh (2016) apresentou um modelo de previsão de energia eólica na arquitetura de rede neural em *feed-forward*. E, mostrou que RNA é uma ferramenta eficiente e valiosa para a estimativa de energia eólica para geradores eólicos. Ozgur (2014) mostrou um modelo de RNA baseado em análise de VPL, para o estudo da viabilidade econômica, mostrando que os sistemas de energia eólica para diferentes tipos de turbinas são lucrativos.

Dombayci (2010) desenvolveu um modelo de RNA para prever o consumo de energia de aquecimento por hora de uma casa modelo projetada. Seus resultados mostram que os valores de consumo de energia podem ser ditos com grande precisão, indicando que a RNA é um método muito eficaz para ser usado para este tipo de previsão.

Em outro estudo, Cabrera *et al.* (2017) utilizaram RNA como ferramenta de sistema de controle para um protótipo de pequena escala de uma planta de dessalinização.

Em sua pesquisa, Macedo *et al.* (2015) utilizaram RNAs para escolher as políticas mais adequadas para cada tipo de consumidor. Os autores mostraram o desempenho satisfatório possibilitando a otimização do sistema e o preço dinâmico com base nos hábitos do consumidor. De forma similar, Bolanca *et al.* (2017) criaram um modelo para definir uma política mais eficiente e ambientalmente mais sustentável, devendo ser transferível a outros lugares aplicando o procedimento de treinamento de RNA descritos.

Azadeh, Babazadeh, Asadzadeh (2013) apresentaram uma abordagem para estimativa e previsão otimizadas do consumo de energia renovável, considerando fatores ambientais e econômicos. Em seu estudo, a RNA treina e testa os dados com a abordagem *Multi Layer Perceptron* (MLP), sendo esta, segundo Haykin (2008), a abordagem mais utilizada na literatura. Os autores mostraram que o modelo de RNA proposto pode ser muito benéfico para melhorar e otimizar o consumo de energia renovável em algumas localidades remotas ou rurais, sem dispositivos disponíveis para medir o consumo de energia renovável.

Aien *et al.* (2014) criaram uma metodologia para estimativa de estado em tempo real, preços de energia por estudos probabilísticos de fluxo de potência ótima usando o conceito de redes neurais artificiais híbridas. Analogamente, Barelli *et al.* (2018) propuseram um modelo de RNA para prever o escalonamento de cargas programáveis considerando as condições climáticas relativas ao dia atual e ao anterior, além da previsão do tempo para o dia seguinte. Ainda, Aien *et al.* (2014) mostraram o uso de RNA em diferentes aplicações de sistemas de potência, como previsão de carga, previsão de preço de eletricidade, previsão de velocidade do vento e estimativa de estado em sistema de distribuição.

O uso de RNA pode ser particularmente útil quando o objetivo principal é a classificação de resultados e interações importantes ou não-linearidades complexas existirem em um conjunto de dados. Também requer treinamento estatístico menos formal e pode ser desenvolvido usando múltiplos algoritmos de treinamento diferentes (BISSACOT *et al.*, 2016).

2.4 Micro e pequenas empresas

O início de um empreendimento, exige coragem e esforço, o início é difícil. O empreendedor precisa otimizar seus recursos, e utilizar ferramentas que deem base estratégica, e que auxiliem no planejamento, organização e economia, que podem reduzir os riscos do negócio.

Para definir as micro e pequenas empresas (MPE) foi criado a lei geral das Microempresas e empresas de pequeno porte, é baseada no que se refere

o art. 966 da Lei nº10.406, de 10 de janeiro de 2002, que sigam as seguintes características:

I - no caso da microempresa, aufera, em cada ano-calendário, receita bruta igual ou inferior a R\$ 360.000,00 (trezentos e sessenta mil reais); e

II - no caso de empresa de pequeno porte, aufera, em cada ano-calendário, receita bruta superior a R\$ 360.000,00 (trezentos e sessenta mil reais) e igual ou inferior a R\$ 4.800.000,00 (quatro milhões e oitocentos mil reais). (Redação dada pela Lei Complementar nº 155, de 2016).

§ 1º Considera-se receita bruta, para fins do disposto no caput deste artigo, o produto da venda de bens e serviços nas operações de conta própria, o preço dos serviços prestados e o resultado nas operações em conta alheia, não incluídas as vendas canceladas e os descontos incondicionais concedidos.

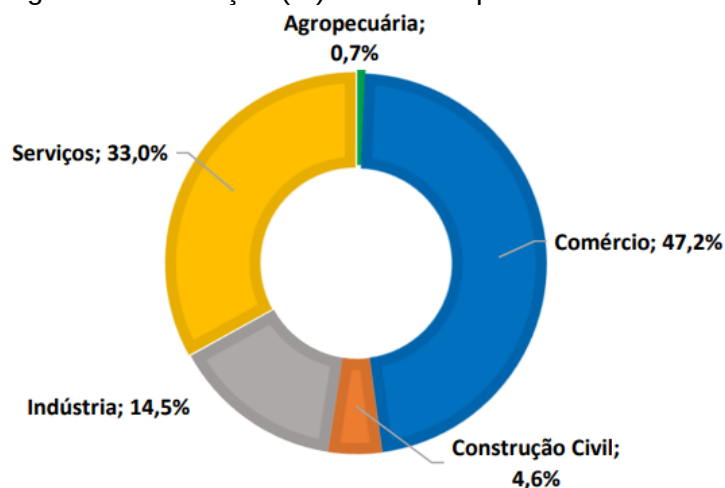
De acordo com o IBGE (2003) são características gerais das micro e pequenas empresas:

- Baixa intensidade de capital;
- Altas taxas de natalidade e mortalidade;
- Forte presença de proprietários, sócios e membros da família como mão de obra ocupada nos negócios;
- Poder decisório centralizado
- Estreito vínculo entre os proprietários e as empresas, não se diferenciando em termos contábeis e financeiros;
- Registros contábeis inadequados;
- Contratação direta de mão de obra;
- Utilização de mão de obra não qualificada;
- Baixo investimento em inovação tecnológica;
- Maior dificuldade de acesso ao financiamento de capital de giro;
- Relação de complementaridade e subordinação com empresas de grande porte.

Segundo Sebrae (2018a) as MPEs representam cerca de 98,5% do total de empresas privadas no Brasil, correspondendo a 27% do PIB (produto interno bruto), e responsáveis por 54% de empregos formais existentes no Brasil.

Segundo dados do Sebrae (2018a), a distribuição das MPEs por setor econômico e atividades tem maior concentração no setor de comércio (47,2%), seguido de serviços (33%). A Figura 8 mostra a distribuição por setor econômico.

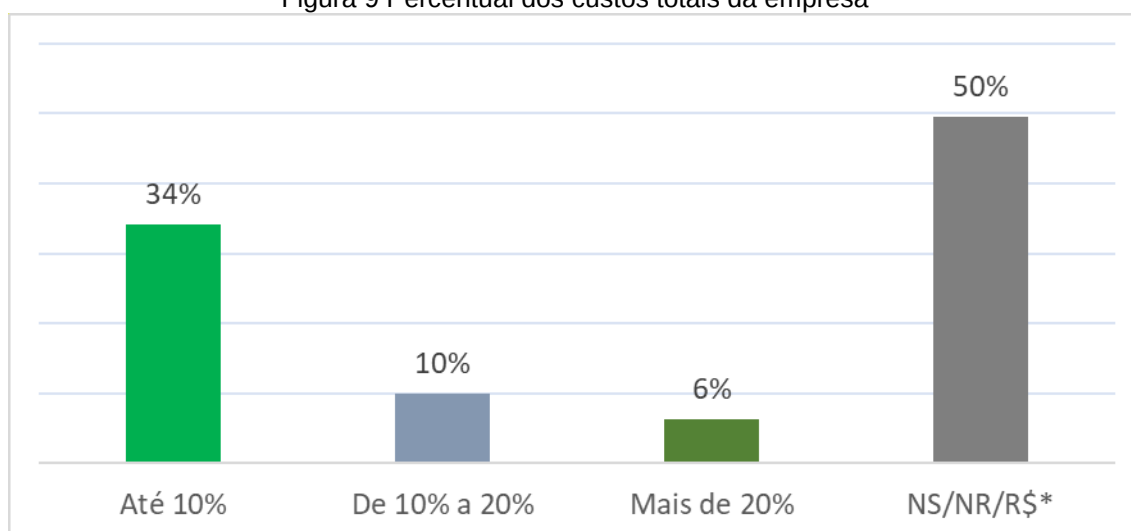
Figura 8 Distribuição (%) das MPEs por setor - 2017



Fonte: Sebrae (2018a)

Estudos do Sebrae (2018b) mostram que quanto maior o porte da empresa, menor o custo com a energia elétrica em relação aos gastos gerais. A média do custo da energia elétrica para as MPEs, considerando todos os gastos da empresa é de 10%, como é visto na Figura 9 (SEBRAE, 2018b).

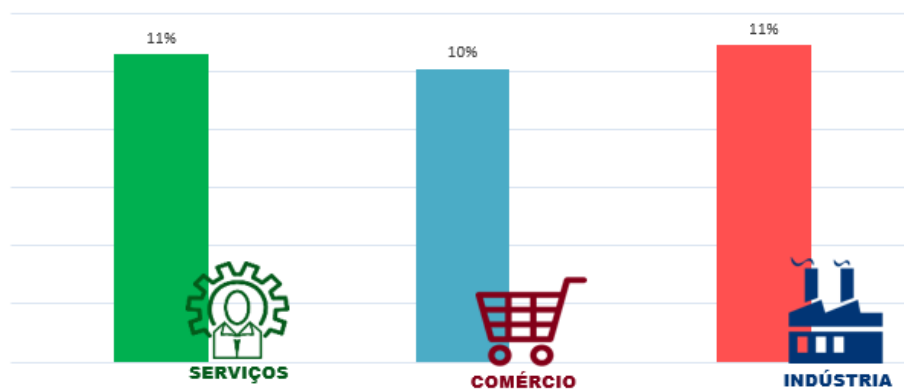
Figura 9 Percentual dos custos totais da empresa



Fonte: Sebrae (2018b)

Em relação ao custo da energia por segmento, o Sebrae (2018b) mostra que não existe diferenças significativas entre os principais setor, visto na figura 10.

Figura 10 Percentual do consumo de energia por setor nas MPes



Fonte: Sebrae (2018b)

3. METODO DE PESQUISA

A ciência é uma busca por respostas, por meio de pesquisas metódicas que resultam em novos conhecimentos, respondendo as indagações prévias (MARTINS, MELLO e TURRIONI, 2013).

O procedimento de uma pesquisa é seguido a partir do conhecimento disponível, a utilização de ferramentas, métodos, técnicas e procedimentos. O pesquisador precisa estar norteado diante da interação com o ambiente a ser pesquisado, sobre a proposição de soluções, saber como formular as hipóteses, processar os dados, utilizar o método, com a finalidade de gerar o conhecimento científico (MIGUEL e AUGUSTO, 2007).

Essa pesquisa, de acordo com os parâmetros de Miguel *et al.* (2010) descritos na Figura 11, é de natureza aplicada, com objetivos descritivos, tendo uma abordagem quantitativa, utilizando o método de modelagem e simulação.

NATUREZA	OBJETIVOS	ABORDAGEM		
Básica	Exploratória	Quantitativa	Qualitativa	Combinada
Aplicada	Descritiva	Experimento	Estudo de caso	
	Explicativa	Modelagem e simulação	Pesquisa ação	
		Survey	Soft system	

Figura 11- Definição da pesquisa.

Fonte: Miguel *et al.* (2010).

A pesquisa se dará por uma sequência de passos, descritos na Figura 12 apresentada a seguir. O passo inicial é referente a coleta de dados, que terá como intuito a busca por dados referentes ao investimento, custos atrelados ao investimento, informações técnicas, dados referentes a velocidade de vento, condições de financiamentos e possíveis juros atrelados a operação. Vale lembrar que serão realizadas buscas na literatura, e tomadas como sugestão o que outros autores fizeram em trabalhos semelhantes, assim como a busca em base de dados disponibilizados por órgãos competentes.

Com todos os dados coletados, será iniciado o cálculo para geração de energia elétrica a partir da fonte eólica. Com a informação da quantidade de

energia gerada, será possível calcular o montante referente à economia gerada pela turbina eólica. E, na sequência, a construção do fluxo de caixa descontado, para a partir disso aplicar os critérios de decisão sobre investimento.

Após a coleta de dados necessários e a construção do fluxo de caixa, serão realizadas análises determinísticas, considerando três regiões distintas e com cenários de variações máxima e mínima. Com o intuito de aumentar a confiabilidade das análises, será feita uma análise de sensibilidade que irá permitir avaliar quais as variáveis mais relevantes para o projeto.

Em seguida, será feita a análise estocástica com a modelagem de cenários considerando o risco e incerteza das variáveis. Para isso, será utilizada a SMC, com o objetivo de calcular a probabilidade de viabilidade do projeto, ou seja, a probabilidade de se obter um $VPL > 0$.

Por fim será construído um modelo de RNA com o intuito de estabelecer a relação entre o VPL e as variáveis específicas, obtidas a partir da análise de sensibilidade. Assim como Kharseh *et al.* (2016), que construiu um modelo de RNA para gerar uma fórmula empírica que prevê o VPL em função dos fatores estabelecidos em projetos fotovoltaicos, será construído modelo de RNA para a previsão do VPL em um projeto eólico de pequeno porte.

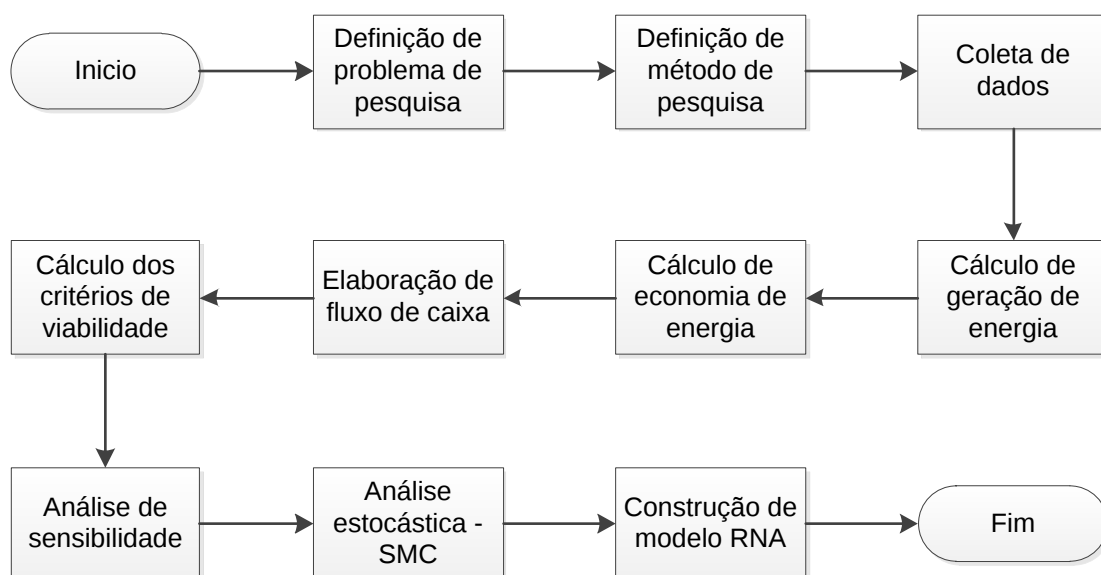


Figura 12- Fluxograma da pesquisa proposta.

3.1 COLETA DE DADOS

Os dados coletados e apresentados nesta seção são referentes ao investimento necessário, custos com operação e manutenção e depreciação. Nesse tópico será apresentado o detalhamento de como os dados foram coletados, a forma como são tratados na literatura, e, por fim, serão definidos os parâmetros e variáveis que serão utilizados nesta pesquisa.

3.1.1 Investimento

Conforme regulamentação da ANEEL (2012), a micro geração possui potência instalada até 75 quilowatts (KW) e mini geração é definida como aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW (sendo 3 MW para a fonte hídrica), conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

Rocha *et al.* (2018) em seu estudo de viabilidade econômica de energia eólica, utilizaram um aerogerador de 2,4kW, com a justificativa de ser facilmente encontrado no mercado, assim como Grieser, Sunak e Madlener (2015) que também utilizam uma turbina de 2,4kW. Li *et al.* (2013) utilizam uma turbina de 2,3kW. O investimento foi calculado com o propósito da instalação de um aerogerador com potência de 2,4kW, com as seguintes características apresentadas na Tabela 2:

Tabela 2- Características técnicas aero gerador

Potência nominal (kW)	Diâmetro do rotor (m)	Velocidade nominal (rpm)	Vento de partida (m/s)	Altura da torre (m)	Valor de investimento (R\$)
2,4	3,72	50 - 325	3,5	18	61.0000

Fonte: Dados dos fornecedores.

Neste projeto, o valor do investimento é referente à soma dos valores de uma turbina eólica de 2,4kW, da torre metálica, do frete e da instalação do sistema. Os equipamentos possuem vida útil média de 20 anos.

3.1.2 Operação e manutenção

Segundo Ertürk (2012), os custos operacionais na produção de energia eólica são muito baixos em relação às outras fontes de energia, já que uma vez instalada, não há custo de combustível, apenas custos de operação e manutenção (O&M).

Já com relação à manutenção das turbinas, os custos podem vir a surgir com itens de peças de reposição, manutenção preventiva, custos com mão de obra, arrendamento do terreno e as margens para eventuais surpresas. Estes custos podem variar de acordo com as condições locais e os componentes corrosivos na atmosfera (FADIGAS, 2011). Na literatura, autores que trabalharam com viabilidade econômica de energia eólica em pequena escala, utilizaram uma taxa anual que incide sobre o valor do investimento. Os valores são descritos na Tabela 3.

Tabela 3- Custos de O&M na literatura

Autores	Custo anual de O&M
Hosseinalizadeh <i>et al.</i> (2017)	2,00%
Li <i>et al.</i> (2017)	1,00%
Abdelhady, Borello e Santori (2015)	2,00%
Grieser, Sunak e Madlener (2015)	1,00%
Fadigas (2011)	2,00%

Portanto, para este trabalho será adotada uma postura mais conservadora e será utilizada a taxa de 2% ao ano sobre o valor do investimento referente a operação e manutenção, conforme proposto por autores como Hosseinalizadeh *et al.* (2017), Abdelhady, Borello e Santori (2015) e Fadigas (2011).

3.1.3 Depreciação

A depreciação para equipamentos elétricos segue uma instrução específica, e os equipamentos eólicos possuem vida útil de 20 anos. Com isso, podem ser depreciados a uma taxa anual de 5% de acordo com Aquila *et al.* (2017) e o manual da COPEL (2007).

3.2 FINANCIAMENTO

O Banco do Nordeste (2017) busca contribuir com a sustentabilidade ambiental da matriz energética brasileira e oferece uma linha chamada FNE SOL (Financiamento de micro e minigeração distribuída de Energia elétrica), utilizada especialmente para o financiamento de sistemas de micro e minigeração de energia a partir de fontes renováveis.

As taxas consideradas são as taxas que o banco trabalha para o programa FNE SOL, com carência de seis meses e até 96 meses para pagamento. As taxas fornecidas pelo banco estão descritas na Tabela 4.

Tabela 4- Taxas de juros do financiamento

TAXA DE JUROS	
Taxa de juros ao ano	1,58%
Custo efetivo total (CET) ao ano	1,60%
Encargos financeiros anuais	6,65%

Neste trabalho, para o cálculo da taxa real de juros, será seguida a proposta de Aquila (2015). A fórmula para calcular a taxa real de juros é dada pela Equação 7.

$$j_r = \frac{(1 + j_n)}{(1 + r)} - 1 \quad (7)$$

No qual:

j_n é definida como a taxa de juros nominal;

j_r representa a taxa de juros real;

r é a taxa de inflação considerada.

Considerando a taxa atual de inflação igual a 2,95% (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2017), logo, a taxa de juros real considerada neste trabalho foi de 3,59%.

3.3 DADOS SOBRE VENTOS

O modelo mais utilizado para descrever a distribuição da velocidade de vento é a distribuição *Weibull* (LIMA e BEZERRA FILHO, 2010). A distribuição *Weibull* é caracterizada por dois parâmetros, um de forma k e outro de escala c (AQUILA *et al.*, 2018; COPEL, 2007).

Nesta pesquisa se optou por trabalhar com três estados Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul e Minas Gerais. Dois deles escolhidos por sua localização geográfica (estão nos extremos geográficos do país), e será comparado com o estado de Minas Gerais, que já possui políticas de incentivo a energia renovável, com a isenção de ICMS na compra de equipamentos.

Os dados da velocidade média anual do vento, assim como do fator de forma de *Weibull*, escala e gama dos estados do Rio Grande do Norte (RN), Minas gerais (MG) e Rio do Grande do Sul (RS), foram calculados a partir das fontes conforme as informações estão contidas na Tabela 5. O valor da média da velocidade dos ventos foi retirado a partir de dados histórico que a NASA disponibiliza de 1981 até 2017. O fator de forma retirado do Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (2001), e escala e *Gamma* a partir de Custodio (2013). Os valores estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5- Informações sobre ventos por estado

	RN	RS	MG	Referência
Média	6,46	5,49	5,71	NASA (2018)
Forma	3,01	1,70	2,50	Atlas Eólico (2001)
Escala	7,24	6,15	6,44	Custodio (2013)
<i>Gamma</i>	0,89	0,89	0,89	Custodio (2013)

3.4 PRODUÇÃO ENERGÉTICA

Para o cálculo da produção energética da turbina eólica foi considerado o mesmo método utilizado por Rocha *et al.* (2018), Aquila *et al.* (2017), Aquila *et al.* (2016b) e Li, Lu e Wu (2013), trabalhos estes que envolvem exclusivamente energia eólica. Será usada a função de densidade de probabilidade de uma distribuição *Weibull* com dois parâmetros de acordo com a Equação 8.

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c} \right)^k} \quad (8)$$

No qual:

v representa a velocidade de vento;

k é o parâmetro de forma;

c representa o fator de escala.

Ambas variáveis foram obtidas do Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (CEPEL, 2001) e seus valores variam de região para região e também em função da estação do ano. O parâmetro c representa o fator de escala, e essa variável pode ser calculada por uma distribuição própria do tipo gama, porém para valores de k variando entre 2 e 3; o fator de escala foi calculado a partir de dados de Custodio (2013), que apresenta relações entre a função *gamma* e o parâmetro de forma.

De acordo com os trabalhos de Rocha *et al.* (2018), Aquila *et al.* (2016) e Lima e Bezerra filho (2010), a quantidade de energia gerada em watts pode ser estimada pela Equação 9.

$$P = \frac{1}{2} \rho A_r v^3 C_p \eta \quad (9)$$

No qual:

ρ é a densidade do ar;

A_r é a área do rotor;

v é a velocidade do vento;

C_p é o coeficiente aerodinâmico do rotor;

η representa a eficiência do sistema.

O coeficiente aerodinâmico do rotor, por sua vez é calculado por equação polinomial exibido na Equação 10 (AQUILA *et al.*, 2016b).

$$C_p = -0,08114 + 0,1771v - 0,01539v^2 + 0,00034v^3 \quad (10)$$

Os valores dos coeficientes da Equação 10 foram calculados baseados nos trabalhos de Aquila *et al.* (2016b) e Rocha *et al.* (2018), onde os autores obtiveram tais constantes por meio de regressão para valores de velocidade do vento variando de 0 a 25 m/s. Por fim, Rocha *et al.* (2018) Abdelhady, Borello e Santori (2015) e o manual da COPEL (2007) estimam a geração anual de energia elétrica pela Equação 11.

$$AEP = 8,76 \int_{V_{\min}}^{V_{\max}} P(v) f(v) dv \quad (11)$$

No qual:

AEP representa a produção anual de energia;

v é a velocidade do vento.

3.5 CÁLCULO DO WACC

As maiores empresas do setor de energia elétrica que compõem a carteira da Bolsa de Valores, Mercadorias e Futuros (B3, 2017), possuem em média 65% dos seus financiamentos composto por capital de terceiros, enquanto 35% é composto por capital próprio. O banco do Nordeste que possui linha de financiamento específica para microgeração, fornece o financiamento de até 70% do projeto de energia renovável. Portanto, neste trabalho, serão utilizados os valores fornecidos pelo Banco do Nordeste para o cálculo do WACC, a ser utilizado na projeção do fluxo de caixa neste projeto de energia eólica.

Para o cálculo do custo do capital próprio (k_e) será utilizado o Modelo de Precificação de Ativos (*Capital Asset Pricing Model* – CAPM), proposto por Sharpe (1964) e sugerido nos estudos de FER apresentados por Rocha *et al.* (2018), Aquila *et al.* (2016b), Tao e Finenko (2016) e Westner e Madlener (2011). A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2017) recomenda em nota que seja adicionado um fator de risco Brasil no valor de 3,87%, para que seja dado ao investidor um prêmio pelo investimento no mercado brasileiro. Com relação aos valores de R_f e R_m , a ANEEL (2017) recomenda a utilização

dos valores 4,04% e 10,10% respectivamente, para o cálculo do WACC utilizado na avaliação de projetos de geração de energia elétrica.

Ainda, para valorizar o risco beta da ação utiliza-se a tabela de Damodaran (2017), o qual indica o valor do beta desalavancado no setor de energia renovável como sendo 0,69. Com isso, por meio da aplicação da Equação 6, e considerando a mesma proporção de capital próprio e de terceiros, tem-se o valor do beta alavancado de 2,3 para o ano de 2017.

Então, utilizando a Equação 5 para o cálculo do CAPM e utilizando os respectivos valores sugeridos para R_f , R_m e R_b , foi possível calcular o custo do capital próprio para este trabalho, no qual o valor foi de 21,85%, e o valor deflacionado é de 19,42%, que é o valor ajustado em relação a inflação dos Estados Unidos (EUA).

Para o custo de capital de terceiros, por meio da Equação 7, foi calculada a taxa de juros real para a obtenção do financiamento junto ao Banco do Nordeste, sendo este valor igual a 3,59%.

Por fim, como descrito anteriormente pela Equação 3, e com os valores de custo de capital de terceiros e custo de capital próprio iguais a 30% e 70%, respectivamente, foi possível o cálculo do WACC. Para esta pesquisa foi obtido o valor de 9,02%, que será utilizado como taxa de desconto (Taxa Mínima de Atratividade - TMA) para os cálculos necessários para a realização da análise de viabilidade.

3.6 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Assim como Rocha *et al.* (2018), Aquila *et al.* (2017), Rocha *et al.* (2017), Chu *et al.* (2016), Loncar *et al.* (2016), Pereira *et al.* (2014), Westner e Madlener (2011), será aplicado o *software Crystal Ball*® para simulação de Monte Carlo em projetos de viabilidade econômica.

Para operacionalizar as simulações são assumidas as seguintes condições:

I. Fluxo de caixa

Para atingir os objetivos dessa pesquisa, foram definidas como respostas o Valor Presente Líquido (VPL), afim de verificar a viabilidade econômica do projeto de investimento. Para os cálculos do VPL, foi utilizado o

fluxo de caixa, adaptado da proposta de Aquila (2015) e determinado conforme apresentado no Quadro 5.

Quadro 5- Modelo de fluxo de caixa

Receita
(-) Impostos proporcionais
Receita líquida
(-) Encargos setoriais
(-) Arrendamento
(-) Custos O&M
Resultado Bruto
(-) Despesas com seguro
(-) Despesas gerais e administrativos
(-) Depreciação
Resultado antes do IRPJ/CSLL e Despesas financeiras
(-) Despesas financeiras
Lucro antes IRPJ eCSLL
(-) IRPJ/CSLL
Lucro líquido após IR
(+) Depreciação
(-) Amortização do financiamento
(-) Investimento
(+) Liberação de financiamento
(+) Valor terminal
Fluxo de caixa

Fonte: Adaptado de Aquila (2015).

II. Incertezas

Todos os parâmetros de entrada no fluxo de caixa possuem grau de incerteza. A economia gerada que irá depender da velocidade do vento e do preço da energia por exemplo, assim como o investimento que está inerente às taxas de juros cobradas pelo banco financiador e taxa de câmbio de importação. As possibilidades são inúmeras, e nesta pesquisa será trabalhado algumas variáveis de estudo que influenciam a viabilidade do projeto. Algumas destas variáveis foram definidas a partir da análise determinística. Sendo as seguintes variáveis:

- a) Preço da energia: O preço da energia é estabelecido por estado estudado (RN, RS e MG), considerando o preço final para o consumidor em cada estado e dados fornecidos pela ANEEL (2018). Os preços

encontrados para cada estado foram de R\$0,48, R\$0,49 e R\$0,59, respectivamente. Os preços da energia são considerados uma distribuição triangular, a variação considerada nos preços da energia foi de +10% ou -10%;

- b) Velocidade do vento: A incerteza para a velocidade do vento é incorporada pelas características do vento. A velocidade do vento segue uma distribuição *Weibull* com parâmetro de escala (c) e fator de forma (k);
- c) Investimento: O investimento considerado envolve a compra de um sistema eólico composto por aerogerador de 2,4kW, torre metálica, frete e instalação do sistema. A incerteza é incorporada ao custo de investimento, com uma distribuição triangular e variação +10% e -10% sobre o custo total, compatíveis com valores de mercado;
- d) Vida útil do equipamento: Esta é dada pelo fornecedor, descrita como sendo de 20 anos. Em abordagens semelhantes, autores como Aquila *et al.* (2017), Rocha *et al.* (2017), Bataineh e Dalalah (2013) e Lima e Bezerra Filho (2010) também utilizam essa mesma vida útil em seus projetos;
- e) Custo de capital de terceiros: Como nos trabalhos de Rocha *et al.* (2018), Aquila *et al.* (2016b), Tao e Finenko (2016) e Westner e Madlener (2011), foi calculado por meio da Equação 4.
- f) Prazo para pagamento: Neste caso é considerado fixo, de acordo com o prazo máximo estabelecido pelo Banco do Nordeste, que é de 96 meses, equivalentes a oito anos.

3.7 CONSTRUÇÃO DE MODELO DE REDES NEURAIS

O objetivo da utilização de RNA, neste caso, não é a construção do modelo ou do resultado de previsão a partir do modelo obtido, e sim, a partir dos treinamentos, se obter os pesos sinápticos do treinamento, os quais serão obtidos a partir do treinamento de rede utilizando o *software Statistica*®, no módulo *Neural Networks*. Os dados de entrada, utilizados na Simulação de Monte Carlo, e das respostas obtidas (VPL), serão inseridos no *software* para o treinamento da rede. Conforme informado, segundo Chakrabarty, Boksh e

Chakraborty, 2013, os pesos sinápticos não possuem nenhum valor para análise, individualmente não apresentam nenhuma representação e não permitem nenhuma interpretação.

A análise é feita utilizando um modelo de regressão, e como resposta é considerado o VPL e as variáveis de entrada são: capital de terceiros (%), depreciação, investimento, operação e manutenção (O&M), prazo para pagamento, tarifa de energia, velocidade do vento e vida útil do equipamento. O sistema foi configurado para treinar as 20 melhores redes, mostrando como resultado as cinco melhores arquiteturas.

Após o treinamento da rede, serão extraídos os pesos sinápticos obtidos no treinamento a fim de calcular os valores de importância relativa (RI) e se possibilitar o entendimento do comportamento das variáveis. Ou seja, a partir do cálculo da importância relativa (RI) será possível identificar as variáveis que mais impactam sobre a resposta desejada, neste caso o VPL.

Chakraborty, Boksh e Chakraborty (2013) propuseram o cálculo da importância relativa (RI) com o intuito de realizar a análise de sensibilidade de variáveis, e o método de cálculo com base nos pesos sinápticos é descrito pelos autores da seguinte forma:

- 1- Organizar um vetor linha M ($1 \times n$) para os pesos de interconexão entre os nós da camada oculta e da saída;
- 2- Organizar uma matriz $M \times N$, W , para os pesos de interconexão entre os nós da camada de entrada e a oculta;
- 3- Calcule o vetor linha $R = MW^T$;
- 4- Calcule a importância relativa (RI) em percentuais.

4. VIABILIDADE ECONÔMICA

Para início da análise de viabilidade econômica, foi estabelecido a viabilidade determinística para entendimento inicial. Com o método de pesquisa estabelecido e coleta de dados realizada, foi conduzida a análise de viabilidade determinística, com a elaboração de fluxos de caixa. Os dados coletados estão sintetizados na Tabela 6.

Tabela 6- Dados coletados e calculados para esta pesquisa

Dados Energia Eólica	
Investimento	R\$ 61.000,00
Produção anual de energia	18.437,90 kWh/ano
Vida útil	20 anos
Custos com operação e manutenção	2%
Depreciação	5%
R_f	4,04%
R_m	10,10%
Prêmio ($R_m - R_f$)	6,06%
R_b	3,87%
Custo de capital de terceiros	6,68%
Beta desalavancado	0,69
Beta alavancado	2,30
Custo de capital próprio (CAPM)	21,85%
Custo de capital próprio deflacionado	19,42%
WACC - TMA	9,02%

Para o cálculo da economia gerada, foram levados em consideração o preço médio da energia elétrica (em kW/h) praticado pelas concessionárias ao consumidor final de cada estado e a velocidade média do vento. Para a velocidade de vento, foram consideradas as velocidades médias de cada estado. Utilizando as equações 8, 9 e 11 para o cálculo da economia gerada, os resultados podem ser observados na Tabela 7.

Tabela 7- Velocidade do vento e economia gerada

	RN	RS	MG	Referência
Média	6,46	5,49	5,71	NASA (2018)
Economia gerada (Kwh/ano)	7920,49	4582,26	5243,01	Calculado pelo autor

Com o cálculo da economia gerada por cada estado, foi possível a elaboração do fluxo de caixa para cada cenário e a avaliação pelo critério de decisão VPL, conforme proposto na Equação 1. Os resultados de VPL, para cada estado, podem ser observados na Tabela 8.

Tabela 8- Resultados do VPL por estado

	RN	RS	MG
VPL	-R\$ 53.254,35	-R\$ 68.633,71	-R\$ 63.498,64

Inicialmente, é possível perceber que não existe viabilidade em nenhum cenário apresentado, o VPL é negativo para todos os estados, considerando o mesmo valor de investimento para todos.

Já os períodos de *Payback*, mostram que a recuperação do investimento acontece a partir de 13 anos para todos os estados, ou seja, mais da metade do tempo de vida útil dos equipamentos, sendo considerado um longo período para recuperação de capital.

4.1 ANÁLISE ESTOCÁSTICA

Conforme discutido anteriormente, a análise de sensibilidade é realizada com o intuito de investigar quais variáveis mais impactam na viabilidade do projeto. Para isso, foram considerados nesta pesquisa a velocidade do vento, a tarifa de energia, o percentual de capital de terceiros, o investimento, a vida útil do equipamento e o prazo de pagamento, baseado nos estudos de Aquila *et al.* (2016b) e Rocha *et al.* (2018).

Após a construção dos fluxos de caixas, para cada cenário e estado, foram realizadas análises estocásticas para estudar o comportamento do NPV. A Tabela 10 mostra as variáveis estudadas e suas respectivas distribuições de probabilidade para a operacionalização na análise estocástica utilizando MCS.

Tabela 10–Parâmetros e distribuições

Parâmetro	Distribuição	Estado	Mínimo	Mais provável	Máximo
Preço da energia	Triangular	RN	R\$ 0,43	R\$ 0,48	R\$ 0,53
		RS	R\$ 0,44	R\$ 0,49	R\$ 0,54
		MG	R\$ 0,53	R\$ 0,59	R\$ 0,65
Velocidade do vento	Weibull	RN/RS/MG			

Capital de terceiros (%)	Uniforme	RN/RS/MG	0%	70%	
Investimento (em R\$)	Triangular	RN/RS/MG	54.900,00	61.000,00	67.100,00
Vida útil do equipamento	Triangular	RN/RS/MG	20	20	25
Período de pagamento	Uniforme	RN/RS/MG	6	12	

Optou-se em realizar a análise de sensibilidade considerando o estado do RN, por ser o estado no qual na análise determinística mostrou o valor de VPL maior. Tao e Finenko (2016), realizaram a análise de sensibilidade considerando dois cenários: o primeiro sendo 100% financiado por capital de terceiros; e o segundo cenário com 50% de capital de terceiros e 50% de capital próprio. Arnold e Yildiz (2015) realizaram análise de sensibilidade com uma variação de 20% no investimento a ser realizado. Conforme sugerido por Aquila *et al.* (2017) e Aquila *et al.* (2016b), foi atribuído uma variação de 10% a mais e 10% a menos para cada variável a ser analisada, e o gráfico gerado da análise de sensibilidade pode ser visto na Figura 13.

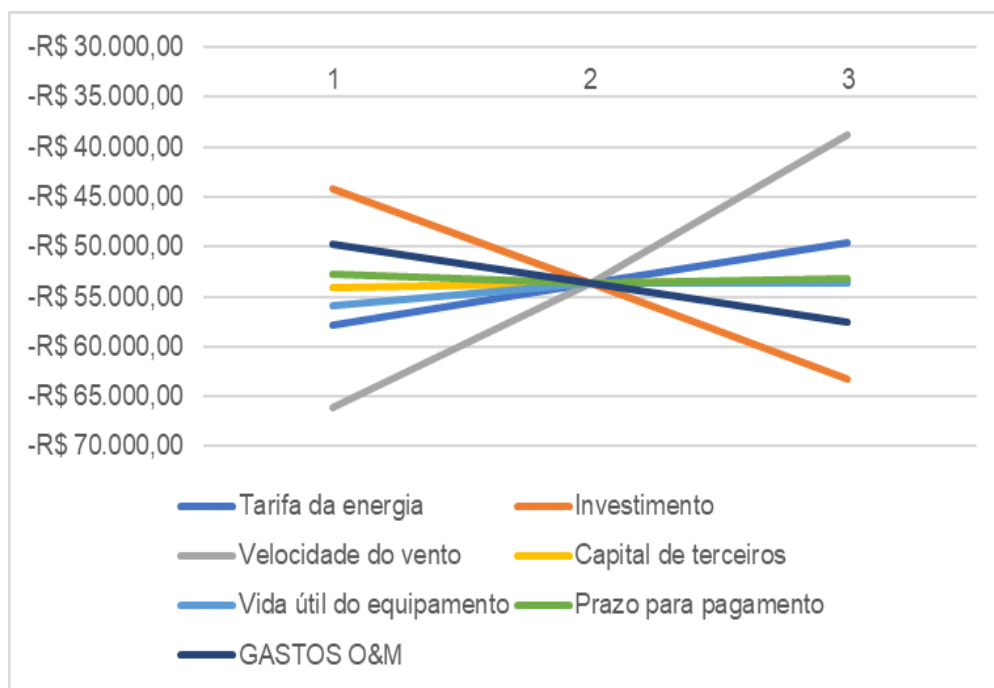


Figura 13- Análise de sensibilidade para o VPL no estado do RN.

Primeiramente, na Figura 13, é possível observar que a velocidade do vento é variável que mais impacta no VPL, mostrando que quanto maior a velocidade do vento, mais viável será o projeto de microgeração. Isso

representa que antes do início de instalação de uma pequena turbina para microgeração, é necessário o estudo da velocidade dos ventos na região, pois essa variável pode tornar o projeto inviável. Na Figura 14, é possível analisar que a velocidade do vento pode impactar 98,2% no VPL.

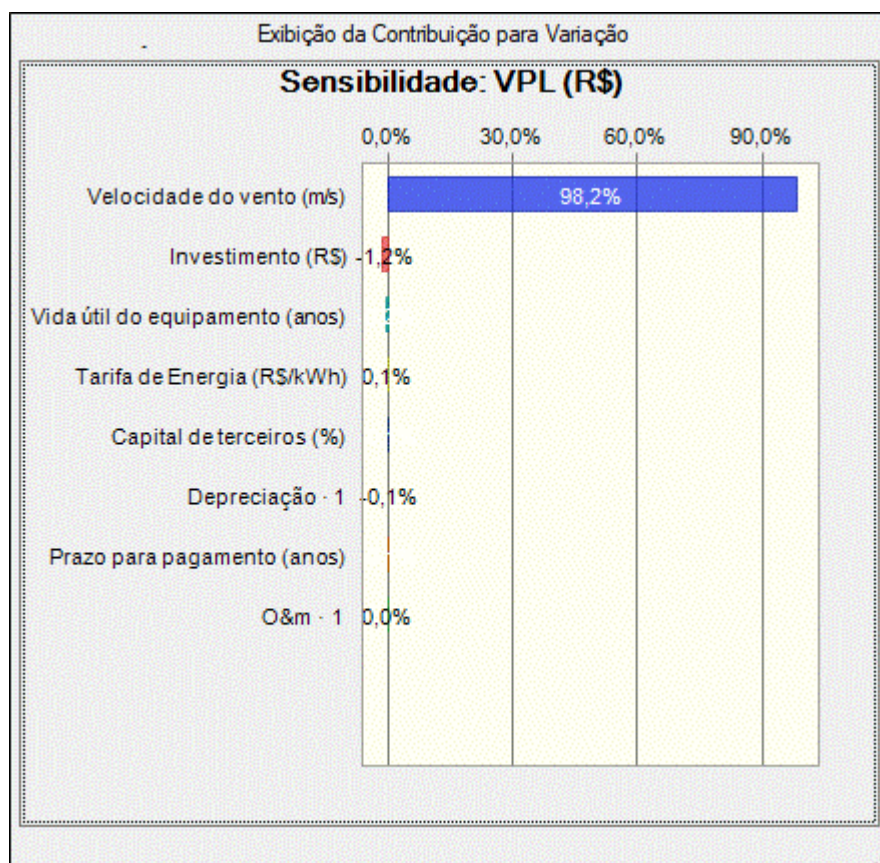


Figura 14- Gráfico da análise de sensibilidade para o VPL no estado do RN.

Em seguida, a variável que mais impacta o VPL positivamente, é a tarifa de energia, ou seja, quanto maior a tarifa cobrada, maior o VPL. Em outros estados, o valor da tarifa para mesma velocidade, pode tornar o projeto viável. Neste sentido, representa para o empresário que quanto maior for a tarifa em sua conta de energia elétrica, mais viável é o investimento em microgeração a partir da energia eólica.

Em terceiro lugar, a variável investimento também impacta no VPL, porém de forma negativa, ou seja, quanto maior o investimento, menor será o VPL, podendo inviabilizar o projeto. Esse resultado ressalta a importância de incentivos para diminuição dos custos de investimentos em energia eólica para microgeração.

Vale destacar que as variáveis prazo para pagamento, percentual de capital de terceiros e vida útil dos equipamentos, não implicam em uma variação maior que 4% no VPL. Rocha *et al.* (2018) mostram em uma de suas simulações que a variável mais impactante é a velocidade do vento, por ser em um local com média de velocidade de vento alta. Contudo, nos três cenários o investimento e a velocidade do vento são as variáveis que mais impactaram no VPL. Aquila *et al.* (2017) e Aquila *et al.* (2016b) mostraram em suas análises de sensibilidade que as variáveis mais significativas foram a velocidade do vento, o preço da energia e os custos do investimento. Aquila *et al.* (2016) concluem sobre a importância das estratégias regulatórias para apoiar o crescimento de fontes de energia renovável, que não são economicamente viáveis comparadas às fontes tradicionais.

O gráfico de tornado apresentado na Figura 15, possibilita perceber em qual ordem estão as variáveis mais impactam no VPL. É percebido, por exemplo, que a variável de velocidade do vento é a mais impactante de todas, mostrando que vale a pena investir em regiões de alta incidência de velocidades de vento alta. Também observa-se, que vale a pena criar políticas de incentivo à microgeração, que possam diminuir o custo do investimento.

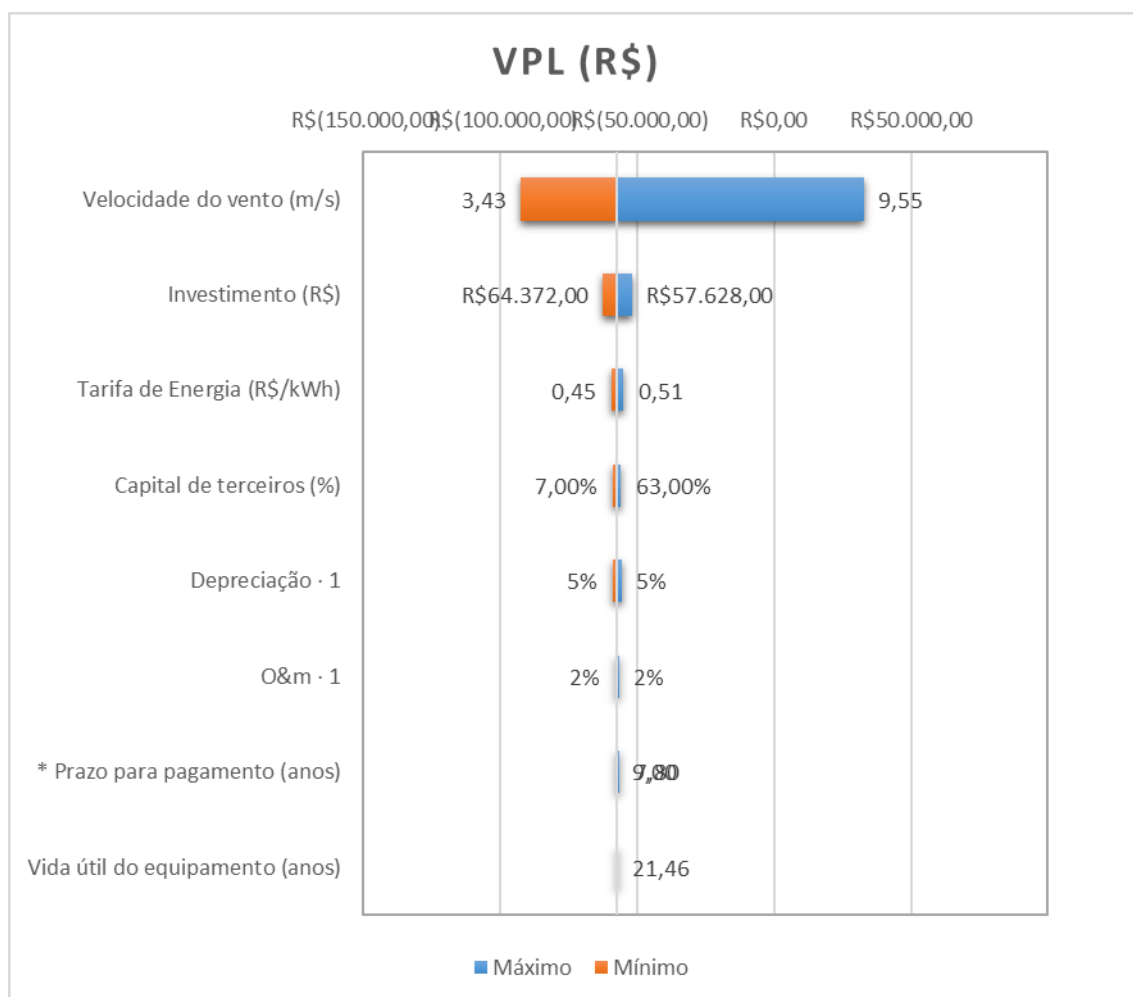


Figura 15- Gráfico de tornado para o estado do RN.

Para os outros cenários, nos estados de RS e MG, as variáveis velocidade do vento, investimento e tarifa de energia foram as mais impactantes no VPL. A velocidade do vento é variável com maior representatividade, podendo impactar com mais de 90% no VPL em todos os outros cenários simulados.

Após a construção dos fluxos de caixas, para cada cenário e estado, foram realizadas análises estocásticas para estudar o comportamento do VPL. Como informado, as simulações foram realizadas a partir do *software* Crystal Ball® e geraram resultados de probabilidade de viabilidade do investimento, e o gráfico gerado nas simulações dos estado do RN, RS e MG pode ser visto nas Figuras 16,17 e 18.

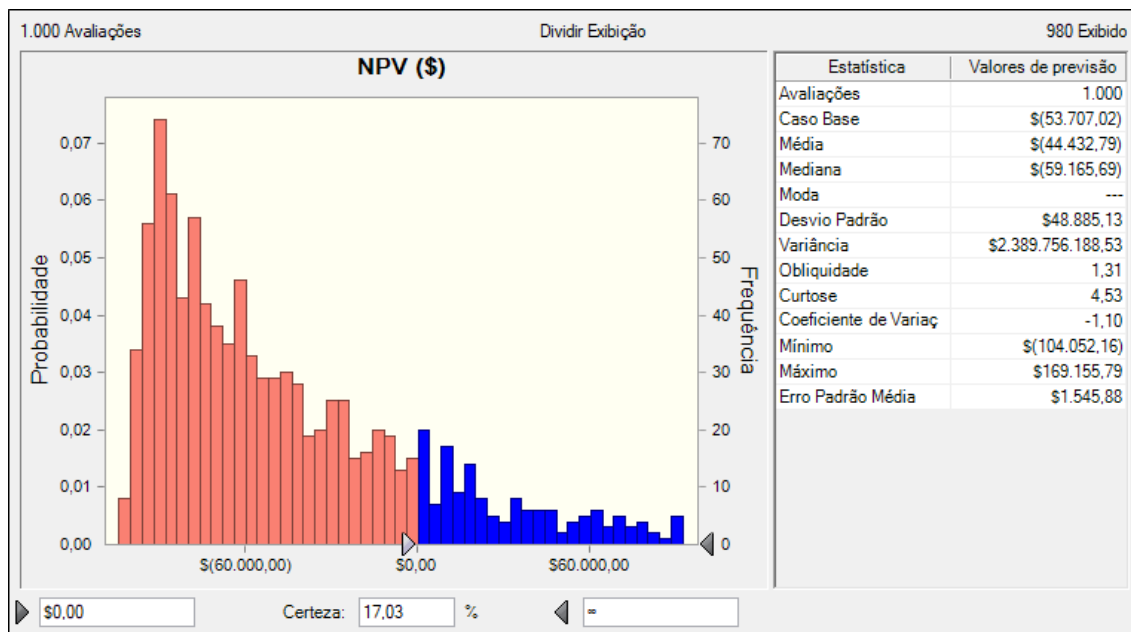


Figura 16- Probabilidade de viabilidade econômica para o RN.

Os resultados de probabilidade de viabilidade econômica para cada estado foram simulados considerando os valores de velocidade de vento conforme os parâmetros da distribuição de *Weibull* para cada estado, descritos na tabela 9. Em resumo, na Tabela 9 são apresentados os valores de probabilidade de se obter um VPL > 0.

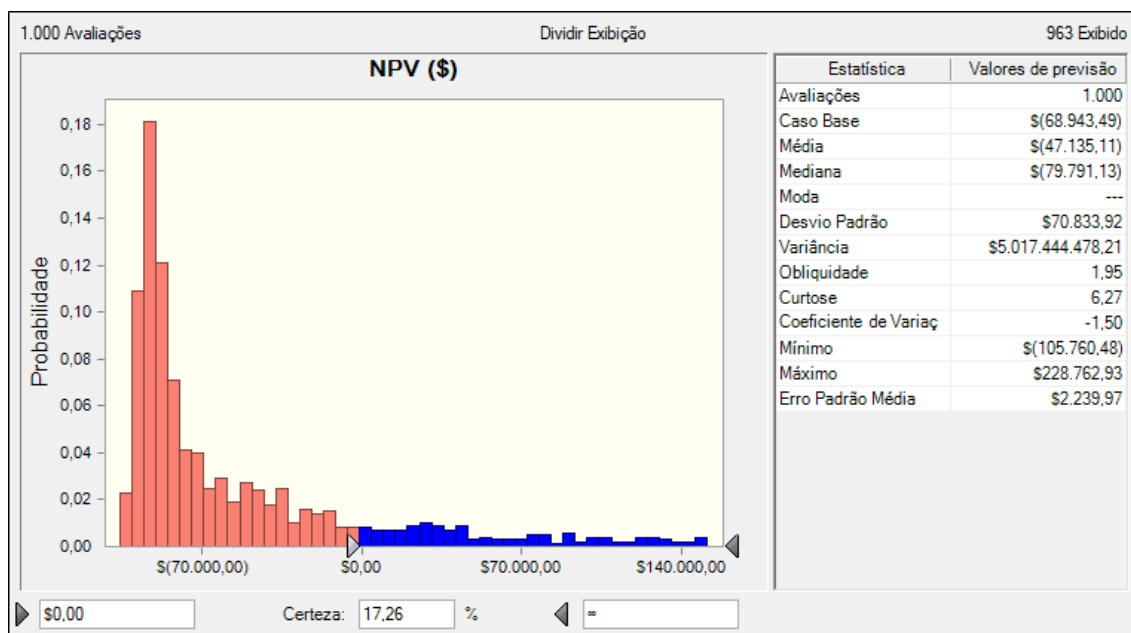


Figura 17- Probabilidade de viabilidade econômica para o RS

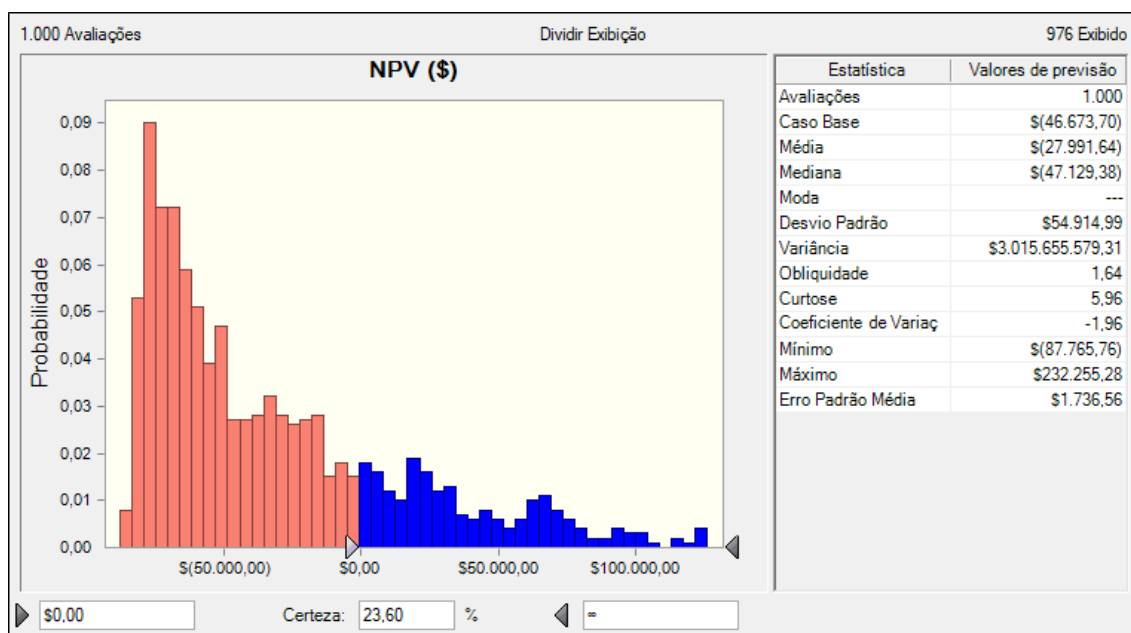


Figura 18- Probabilidade de viabilidade econômica para MG

A Tabela 9 mostra que há uma pequena diferença entre os valores de probabilidade de viabilidade nos três estados. Estes resultados indicam uma baixa probabilidade de viabilidade econômica, mesmo no estado do Rio Grande do Norte; sendo este o único cenário em que foi obtido um VPL mais próximo de zero, com valor de probabilidade de viabilidade igual a 17,03%. Mesmo no estado de MG com redução no ICMS na compra dos equipamentos, o que gera um valor menor de investimento, ainda assim apresentou uma baixa probabilidade de viabilidade com 23,06%.

Tabela 9- Probabilidade de viabilidade econômica por estado

	RN	MG	RS
Probabilidade	17,03%	23,60%	17,26%

Rocha *et al.* (2018) e Holdermann *et al.* (2014) também encontraram baixos índices de probabilidade de viabilidade em suas pesquisas, os autores analisaram projetos de geração de microgeração de energia eólica e solar no Brasil, respectivamente. Walter e Walsh (2011), encontraram em suas pesquisas que, em 95% das regiões estudadas, a microgeração de energia

eólica não é viável, mostrando que esse tipo de projeto necessita de mais incentivos de tarifas, investimentos e financiamentos.

4.2 Análise de sensibilidade utilizando RNA

Como discutido anteriormente, é possível realizar uma análise de sensibilidade utilizando os conceitos de RNA. Logo, esta foi realizada com o auxílio do *software Statistica®*. Por meio deste, foi possível realizar o treinamento da rede, e a partir disso, obter os pesos sinápticos equivalentes. Os pesos sinápticos irão possibilitar medir a influência das variáveis estudadas sobre o VPL (COELHO JUNIOR *et al.*, 2013). Para o cálculo da importância relativa (*RI*), foram utilizadas as seguintes matrizes e vetores de pesos sinápticos, conforme a proposta de Chakrabarty, Boksh e Chakraborty (2013), apresentada anteriormente.

A matriz resultado *R* detalhada na Tabela 12 mostra os pesos sinápticos relacionados às variáveis estudadas, e então, foram calculados os valores percentuais para melhor percepção dos resultados.

Tabela 10 Valores da matriz $M_{(1 \times 11)}$

VPL^T	-1,22	1,07	-0,71	0,55	-0,67	-1,79	-0,17	0,87	-1,73	0,03	-1,28
------------------------	-------	------	-------	------	-------	-------	-------	------	-------	------	-------

Tabela 11 Valores da matriz $W_{(11 \times 8)}$

Capital de terceiros	Depreciação	Investimento	O&M	Prazo	Tarifa	Velocidade	Vida útil
0,00	-0,02	-0,05	0,02	-0,02	0,15	-1,33	-0,01
-0,03	0,01	-0,01	0,01	-0,01	0,04	-2,25	-0,01
0,03	0,00	-0,01	-0,01	0,00	0,23	1,52	-0,01
0,14	-0,03	-0,07	0,02	-0,03	-0,07	0,01	-0,03
0,03	-0,05	0,07	-0,06	-0,04	0,08	-1,45	0,00
-0,05	-0,02	-0,01	-0,03	0,01	-0,21	0,68	0,00
-0,06	-0,02	-0,05	-0,01	0,07	0,05	-0,19	-0,08
-0,08	0,01	0,02	-0,04	0,02	0,12	-0,38	-0,01
-0,01	0,05	0,01	0,03	0,02	0,08	-1,46	0,00
-0,06	-0,02	-0,02	-0,08	-0,05	-0,18	-0,25	-0,02
0,03	0,04	0,07	0,02	-0,02	-0,05	-0,30	0,00

Tabela 12 Valores da matriz R (1 x 8)

Capital de terceiros	Depreciação	Investimento	O&M	Prazo	Tarifa	Velocidade	Vida útil
0,00	-0,03	-0,09	-0,01	0,01	-0,01	0,48	0,00
0,18%	-2,88%	-8,95%	-0,82%	0,60%	-1,39%	47,97%	0,04%

O cálculo para os pesos sinápticos de todas as arquiteturas, e em todos estados foram calculados, e os resultados convergem para as mesmas variáveis, por isso estão apresentados os resultados de apenas um estado como demonstração.

O cálculo do peso sináptico foi obtido através da multiplicação de matrizes (descrito na metodologia), e os resultados para o estado do Rio Grande do Norte (RN) estão descritos na Tabela 13.

A Tabela de 13 mostram o resultado do cálculo da importância relativa (*RI*) em termos percentuais dos cinco melhores resultados de arquiteturas obtidas por meio do treinamento automático de rede. O treinamento automático busca otimizar de forma aleatória as melhores configurações de parâmetros para o treinamento da rede, e retorna as melhores arquiteturas identificadas. Os valores de *RI* permitem analisar quais variáveis mais impactam na resposta VPL e qual é o impacto em termos percentuais. No caso do *software Statistica*[®], este retorna as cinco melhores arquiteturas MLP e a numeração no formato E-O-S, que significa a quantidade de neurônios nas camadas de entrada (E) oculta (O) e saída (S).

Em todas arquiteturas obtidas, foi possível analisar que algumas variáveis se destacam na análise de sensibilidade, sendo a velocidade do vento, investimento, capital de terceiros, tarifa e depreciação as variáveis que mais se mostram sensíveis em relação ao investimento.

Tabela 13 Resultados de RI obtidas por meio do treinamento de rede para o estado do RN

VARIÁVEIS	MLP 8-6-1	MLP 8-11-1	MLP 8-10-1	MLP 8-4-1	MLP 8-6-1
Velocidade	31,63%	76,34%	92,35%	91,75%	52,51%
Tarifa	30,59%	2,21%	0,31%	1,81%	1,06%
Investimento	10,69%	14,25%	4,25%	5,04%	27,66%
Capital de	16,31%	0,29%	1,31%	0,20%	3,50%

terceiros					
Depreciação	6,33%	4,58%	1,02%	0,66%	7,89%
Prazo de pagamento	3,07%	0,95%	0,06%	0,11%	1,80%
Vida útil	0,99%	0,07%	0,07%	0,08%	1,05%
O&M	0,39%	1,31%	0,63%	0,35%	4,54%

Quadro 6- Resumo dos resultados de *RI* por estado

	RN		RS		MG	
1	MLP 8-11-1	Velocidade do vento	MLP 8-9-1	Velocidade do vento	MLP 8-11-1	Velocidade do vento
		Prazo		Tarifa		Investimento
		Capital de terceiros		Prazo		Tarifa
2	MLP 8-6-1	Velocidade do vento	MLP 8-4-1	Velocidade do vento	MLP 8-12-1	Velocidade do vento
		Tarifa		Investimento		Investimento
		Capital de terceiros		Depreciação		Depreciação
3	MLP 8-10-1	Velocidade do vento	MLP 8-11-1	Velocidade do vento	MLP 8-7-1	Velocidade do vento
		Investimento		Tarifa		Investimento
		Capital de terceiros		Capital de terceiros		Depreciação
4	MLP 8-4-1	Velocidade do vento	MLP 8-7-1	Velocidade do vento	MLP 8-11-1	Velocidade do vento
		Investimento		Tarifa		Investimento
		Tarifa		Investimento		Depreciação
5	MLP 8-6-1	Velocidade do vento	MLP 8-4-1	Velocidade do vento	MLP 8-6-1	Velocidade do vento
		Investimento		Investimento		Investimento
		Depreciação		Depreciação		Depreciação

Os resultados são semelhantes para os estados RS e MG, como pode ser observado no Quadro 6, que mostra as três variáveis mais impactantes no VPL para cada estado e as cinco melhores arquiteturas que o software retornou.

Na análise de sensibilidade tradicional e utilizando SMC pode-se perceber que a velocidade do vento é a variável que mais irá impactar no VPL, podendo inviabilizar o projeto, como é visto na Figura 11. A partir das análises utilizando o conceito de importância de relativa (*RI*), foi percebido que outras variáveis podem se tornar relevantes e precisam ser levadas em consideração e avaliadas para possibilitar a viabilidade do projeto.

O método de análise de sensibilidade utilizando o conceito de importância relativa traz mais acuracidade e confiabilidade nos estudos das variáveis, e como podem impactar no VPL e sua importância dentro da análise de investimento. A micro e pequena empresa que pretende investir em economia de energia por meio de pequenas turbinas eólicas necessita entender quais variáveis irão impactar na viabilidade e auxiliar na tomada de decisão, e o conceito de *RI* pode ser de extrema aplicabilidade quanto a realização de análise de sensibilidade, tornando uma abordagem complementar para análise das variáveis. Além disso, de forma complementar, este estudo destaca algumas variáveis com as quais os investidores das micro e pequenas empresas devam se atentar.

5. Conclusões

Esta pesquisa teve como objetivo analisar a viabilidade econômica de microgeração de energia eólica para micros e pequenas empresas em ambientes de incerteza e risco.

Para isso, utilizou-se de critérios de decisão em uma análise determinística a fim de verificar a viabilidade do projeto. Foram considerados três estados distintos (RN, RS e MG), utilizando os parâmetros da distribuição *Weibull* para a velocidade do vento. A análise de sensibilidade foi realizada para identificar quais variáveis mais impactaram no VPL, e com a análise estocástica, por meio da SMC, foi possível analisar quais probabilidades de viabilidade em cada cenário estudado.

Com a construção do fluxo de caixa, foi possível analisar as economias provenientes da energia eólica, junto com as despesas e a simulação de financiamento, mostrando a possível viabilidade econômica para cada cenário. Ainda, observa-se que apenas o estado do RN, considerando o cenário com velocidades de vento maiores, apresentou viabilidade econômica medida pelo critério do VPL.

Na análise de sensibilidade foi visto que as variáveis velocidade do vento e preço da energia são as que mais impactam o VPL, podendo até tornarem o projeto inviável. Tendo em vista que a velocidade do vento foi a variável mais relevante para o projeto, o RN é o estado onde é possível se obter retorno, com VPL positivo, por possuir a maior velocidade do vento, podendo atingir velocidades mais altas.

Utilizou-se o método de SMC para a análise estocástica, e foi possível obter os resultados de probabilidade de viabilidade da microgeração de energia eólica. De forma geral, foi percebido que a microgeração de energia eólica não é viável em qualquer cenário. Na análise estocástica a probabilidade de viabilidade não ultrapassou os 23%, o que ainda é considerado uma baixa probabilidade de viabilidade, segundo diferentes autores, como Rocha *et al.* (2018).

Em seguida é visto que o preço da energia e o investimento também são variáveis relevantes para o projeto. Com isso, constata-se que é essencial que o poder público interfira por meio de políticas de incentivo, de forma a baratear

o custo de investimento desse tipo de tecnologia, com o intuito de alavancar o número de micro e pequenas empresas investidoras em micro e mini geração de energia. Se fosse possível uma redução de 40% no valor do investimento, através de políticas de incentivo, isso já tornaria o projeto viável em cenários de velocidades mais altas nos três estados, com o mínimo de velocidades do vento sendo de 7 m/s.

Na análise de sensibilidade utilizando RNA, com o cálculo dos pesos sinápticos, foi possível calcular a importância relativa (*RI*) e se avaliar melhor as variáveis que mais impactam esse tipo de projeto de investimento, sendo velocidade do vento, investimento, capital de terceiros, tarifa de energia e depreciação. O resultado mostra a importância de políticas públicas no âmbito energético, com o aumento de incentivos para a microgeração já foi visto um aumento significativo nas instalações no país, mas ainda se mostra ineficiente para a implementação de turbinas eólicas de pequeno porte.

Os investidores de micro e pequenas empresas precisam conhecer as variáveis mais relevantes nesse tipo de projeto para que o mesmo seja viável, com o intuito de avaliar melhor o projeto, e conhecer os riscos atrelados ao investimento. Ao aderir ao projeto de investimento, o investidor de micro e pequenas empresas irá ganhar melhorias técnicas (aumentando a disponibilidade da energia elétrica) e financeiras.

A pesquisa dá suporte para percepção de viabilidade de microgeração de energia eólica, com incentivos em investimento e facilidades para financiamento por exemplo, a microgeração pode se tornar um projeto viável para micro e pequena empresa. Pois a disponibilidade de energia, a preocupação com o meio ambiente, e a economia a longo prazo, podem ser vantagens para as empresas de pequeno porte. Conforme explorado por Pereira (2011), observa-se que a instalação de unidades de microgeração pode trazer benefícios fiscais, e redução do gasto com energia, sendo a longo prazo um investimento interessante. As pequenas empresas necessitam de um maior suporte em relação a investimentos desta natureza, pois a energia elétrica é um insumo fundamental em vários processos de produção.

Utilizando tais abordagens, novas pesquisas podem ser feitas utilizando RNA e FER, como a criação de um modelo de previsão utilizando RNA para estimar qual energia renovável é mais indicada para o pequeno e micro

investidor, considerando seu consumo histórico e a diversificação do investimento, tornando a geração de energia renovável na micro e pequena empresa algo viável em um futuro próximo. Também, pode ser criado um modelo de previsão que considere as variáveis estudadas para a pequena turbina eólica, e preveja a melhor localização e condições para que o investimento se torne viável.

REFERÊNCIAS

ABDELHADY, S.; BORELLO, D.; SANTORI, S. Economic Feasibility of Small Wind Turbines for Domestic Consumers in Egypt Based on the New Feed-in Tariff. **Energy Procedia**, v. 75, p. 664–670, 2015.

AIEN, M. et al. Real time probabilistic power system state estimation. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**, v. 62, p. 383–390, 2014.

AGUIRRE, M.; IBIKUNLE, G. Determinants of renewable energy growth: A global sample analysis. **ENERGY POLICY**, v. 69, p. 374–384, jun. 2014.

AKINS, J. E. The oil crisis: This time the wolf is here. **Foreign Affairs: The New American Realism**, v. 51, n. 3, p. 462–490, 1973.

AL-MANSOUR, F.; SUCIC, B.; PUSNIK, M. Challenges and prospects of electricity production from renewable energy sources in Slovenia. **Energy**, [s.l.], v. 77, p.73-81, dez. 2014.

ALPANDA, S.; PERALTA-ALVA, A. Oil crisis, energy-saving technological change and the stock market crash of 1973-74. **Review of Economic Dynamics**, v. 13, n. 4, p. 824–842, 2010.

ANEEL. **Nota técnica nº 0056/2017-SRD/ANEEL, de 24 de maio de 2017.** Disponível em: http://www.aneel.gov.br/documents/656827/15234696/Nota+T%C3%A9cnica_0056_PROJE%C3%87%C3%95ES+GD+2017/38cad9ae-71f6-8788-0429-d097409a0ba9 >. Acesso em 30 de janeiro de 2018.

ANEEL. **Resolução normativa nº482, de 17 de abril de 2012.** Disponível em:< <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf> >. Acesso em 30 de novembro de 2017.

AZADEH, A.; BABAZADEH, R.; ASADZADEH, S. M. Optimum estimation and forecasting of renewable energy consumption by artificial neural networks. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 27, p. 605–612, 2013.

AQUILA, G. **Análise do impacto dos programas de incentivos para viabilizar economicamente o uso de fontes de energia renovável.** 2015. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2015.

AQUILA, G.; PAMPLONA, E. O.; QUEIROZ, A. R.; ROTELA JUNIOR, P.; FONSECA, M. N. An overview of incentive policies for the expansion of renewable energy generation in electricity power systems and the Brazilian experience. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 70, n. April, p. 1090–1098, 2016a.

AQUILA, G.; ROCHA, L. C. S.; ROTELA JUNIOR. P.; PAMPLONA, E. O.; QUEIROZ; A. R.; PAIVA, A. P. Wind power generation: An impact analysis of incentive strategies for cleaner energy provision in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 137, p. 1100–1108, 2016b.

AQUILA, G.; ROTELA JUNIOR, P.; PAMPLONA, E. O.; QUEIROZ, A. R. Wind power feasibility analysis under uncertainty in the Brazilian electricity market. **ENERGY ECONOMICS**, v. 65, p. 127–136, jun. 2017.

AQUILA, G.; PERUCHI, R. S.; ROTELA JUNIOR, P.; ROCHA, L. C. S.; QUEIROZ, A. R.; PAMPLONA, E. O.; BALESTRASSI, P. P. Analysis of the wind average speed in different Brazilian states using the nested GR & R measurement system. **Measurement**, v. 115, n. July 2017, p. 217–222, 2018.

ARNOLD, U.; YILDIZ, Ö. Economic risk analysis of decentralized renewable energy infrastructures – A Monte Carlo Simulation approach. **Renewable Energy**, v. 77, p. 227–239, 2015.

ASUMADU-SARKODIE, S.; OWUSU, P. A. The potential and economic viability of wind farms in Ghana. **Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects**, v. 38, n. 5, p. 695–701, 2016.

AYODELE, T. R.; OGUNJUYIGBE, A. S. O.; AMUSAN, T. O. Wind power utilization assessment and economic analysis of wind turbines across fifteen locations in the six geographical zones of Nigeria. **Journal of Cleaner Production**, v. 129, p. 341–349, 2016.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Resolução 4.419, de 25 de junho de 2015**. Disponível em: <http://www.bcb.gov.br/Pec/metas/TabelaMetaseResultados.pdf>.

BARELLI, L. et al. Residential micro-grid load management through artificial neural networks. **Journal of Energy Storage**, v. 17, n. February, p. 287–298, 2018.

BATAINEH, K. M.; DALALAH, D. Assessment of wind energy potential for selected areas in Jordan. **RENEWABLE ENERGY**, v. 59, p. 75–81, nov. 2013.

BLAZEJCZAK, J.; BRAUN, F. G.; EDLER, D.; SCHILL, W.P. Economic effects of renewable energy expansion: A model-based analysis for Germany. **RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS**, v. 40, p. 1070–1080, 2014.

BOLANČA, T. et al. Modeling of policies for reduction of GHG emissions in energy sector using ANN: case study—Croatia (EU). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 19, p. 16172–16185, 2017.

BOU-RABEE, M. et al. Using artificial neural networks to estimate solar radiation in Kuwait. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 72, n. January, p. 434–438, 2017.

BRUNI, A. L.; FAMÁ, R. **As decisões de investimentos**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

CABRERA, P. et al. Artificial neural networks applied to manage the variable operation of a simple seawater reverse osmosis plant. **DESALINATION**, v. 416, p. 140–156, 2017.

CAMELO, H. DO N. et al. Innovative hybrid models for forecasting time series applied in wind generation based on the combination of time series models with artificial neural networks. **Energy**, v. 151, p. 347–357, 2018.

CASTRO, M. A. L. Regulatory scenarios for microgeneration in Brazil and its impacts in the next decade. **2015 IEEE Electrical Power and Energy Conference: Smarter Resilient Power Systems, EPEC 2015**, p. 463–467, 2016.

CHASSOT, S.; HAMPL, N.; WÜSTENHAGEN, R. When energy policy meets free-market capitalists: The moderating influence of worldviews on risk perception and renewable energy investment decisions. **Energy Research and Social Science**, v. 3, n. C, p. 143–151, 2014.

CHAKRABARTY, S.; BOKSH, F. I. M. M.; CHAKRABORTY, A. Economic viability of biogas and green self-employment opportunities. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 28, p. 757–766, 2013.

CHAUDHRY, R.; FISCHLEIN, M.; LARSON, J.; HALL, D. M.; PETERSON, T. R.; WILSON, E. J.; STEPHENS, J. C. Policy Stakeholders' Perceptions of Carbon Capture and Storage: A Comparison of Four US States. **JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION**, v. 52, p. 21–32, 2013.

CHITEKA, K.; ENWEREMADU, C. C. Prediction of global horizontal solar irradiance in Zimbabwe using artificial neural networks. **Journal of Cleaner Production**, v. 135, p. 701–711, 2016.

CHU, P. L.; VANDERGHEM, C. MACLEAN, H. L.; SAVILLE, B. A. Financial analysis and risk assessment of hydroprocessed renewable jet fuel production from camelina, carinata and used cooking oil. **Applied Energy**, v. 198, p. 401–409, 2017.

COPEL. Companhia Paranaense de Energia. **Manual de avaliação técnico-econômica de empreendimentos eólico-elétricos**. Curitiba: LACTEC, 2007. 104p.

COSTA, C. V.; ROVERE, E. L.; ASSMANN, D. Technological innovation policies to promote renewable energies: Lessons from the European experience for the Brazilian case. **RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS**, v. 12, p. 65–90, 2008.

CORRÊA, R.; NETO, I. D. M.; SEIFERT, S. S. Electricity supply security and the future role of renewable energy sources in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 59, p. 328–341, 2016.

CUNHA, C. A.; MEDEIROS, J. A. V.; WANDER, A. E. Use of real options to evaluate a beef cattle feedlot. **Custos e agronegócio on line**, v. 10, n. 1, p. 212–227, 2014.

DALTON, G. J.; ALCORN, R.; LEWIS, T. Case study feasibility analysis of the Pelamis wave energy convertor in Ireland, Portugal and North America. **RENEWABLE ENERGY**, v. 35, n. 2, p. 443–455, 2010.

DAMODARAN, A., 2017. **Betas by Sector (US)**, Janeiro 2017. Disponível em: http://people.stern.nyu.edu/adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html. Acesso em: 01 dez. 2017.

DELLANO-PAZ, F.; CALVO-SILVOSA, A.; IGLESIAS ANTELO, S.; SOARES, I. The European low-carbon mix for 2030: The role of renewable energy sources in an environmentally and socially efficient approach. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 48, p. 49–61, 2015.

DERVILIS, N. et al. On damage diagnosis for a wind turbine blade using pattern recognition. **JOURNAL OF SOUND AND VIBRATION**, v. 333, n. 6, p. 1833–1850, mar. 2014.

DOMBAYCI, Ö. A. The prediction of heating energy consumption in a model house by using artificial neural networks in Denizli-Turkey. **Advances in Engineering Software**, v. 41, n. 2, p. 141–147, 2010.

ENTCHEV, E.; CHUL, E.; JOON, E. Future Energy Paradigm of Microgeneration Technologies for Decentralized Smart Home. **Energy and Environment**, v. 26, n. 1, p. 67–81, 2015.

ERTÜRK, M. The evaluation of feed-in tariff regulation of Turkey for onshore wind energy based on the economic analysis. **Energy Policy**, v. 45, n. March 2011, p. 359–367, 2012.

FADIGAS, E. A. F. A. **Energia eólica**. Barueri – SP: Manole, 2011.

FERREIRA, A.; KUNH, S. S.; FAGNANI, K. C.; SOUZA, T. A.; TONEZER, C.; SANTOS, G. R.; COIMBRA-ARAÚJO, C. H. Economic overview of the use and production of photovoltaic solar energy in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, n. October 2017, p. 181–191, 2018.

FREZATTI, F. **Gestão da viabilidade econômico-financeira dos projetos de investimento**. São Paulo: Atlas, 2008.

GARCEZ, C. G. Distributed electricity generation in Brazil: An analysis of policy context, design and impact. **Utilities Policy**, v. 49, p. 104–115, 2017.

GRIESER, B.; SUNAK, Y.; MADLENER, R. Economics of small wind turbines in urban settings: An empirical investigation for Germany. **Renewable Energy**, v. 78, n. October 2014, p. 334–350, 2015.

HANNA, R.; LEACH, M.; TORRITI, J. Microgeneration: The installer perspective. **Renewable Energy**, v. 116, n. September 2012, p. 458–469, 2018.

HAWAWINI, Gabriel; VIALLET, Claude. **Finance for Executive: managing for value creation**. 3. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2009. 578 p.

HAYKIN, S. **Redes Neurais: Principios e práticas**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. Tradução Paulo Martins Engel.

HIRTH, L.; UECKERDT, F.; EDENHOFER, O. Why wind is not coal: On the economics of electricity generation. **Energy Journal**, v. 37, n. 3, p. 1–27, 2016.

HITAJ, C. Wind power development in the United States. **JOURNAL OF ENVIRONMENTAL ECONOMICS AND MANAGEMENT**, v. 65, n. 3, p. 394–410, 2013.

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.

HOSSEINALIZADEH, R.; RAFIEI, E. S.; ALAVIJEH, A. S.; GHADERI, S. F. Economic analysis of small wind turbines in residential energy sector in Iran. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 20, p. 58–71, 2017.

- IBGE. **As micro e pequenas empresas comerciais e de serviços no Brasil:2001**. Rio de Janeiro. 2003
- JOHNSON, Blake E.. Modeling energy technology choices. **Energy Policy**, [s.l.], v. 22, n. 10, p.877-883, out. 1994.
- KAHN, J. R.; FREITAS, C. E.; PETRERE, M. False shades of green: The case of Brazilian Amazonian hydropower. **Energies**, v. 7, n. 9, p. 6063–6082, 2014.
- KALOGIROU, S. A. Applications of artificial neural-networks for energy systems. **Applied Energy**, v. 67, n. 1–2, p. 17–35, 2001.
- KAPLAN, Y. A. Overview of wind energy in the world and assessment of current wind energy policies in Turkey. **RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS**, v. 43, p. 562–568, mar. 2015.
- KARABACAK, K.; CETIN, N. Artificial neural networks for controlling wind-PV power systems: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 29, p. 804–827, 2014.
- KENNEDY, M.; DINH, V.-N.; BASU, B. Analysis of consumer choice for low-carbon technologies by using neural networks. **JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION**, v. 112, n. 4, p. 3402–3412, jan. 2016.
- KILLINGER, S.; MAINZER, K.; MCKENNA, R.; KREIFELS, N.; FICHTNER, W. A regional optimisation of renewable energy supply from wind and photovoltaics with respect to three key energy-political objectives. **ENERGY**, v. 84, p. 563–574, 2015.
- KITZING, L. Risk implications of renewable support instruments: Comparative analysis of feed-in tariffs and premiums using a mean-variance approach. **Energy**, v. 64, p. 495–505, 2014.
- KOLTSAKLIS, N. E.; GEORGIADIS, M. C. A multi-period, multi-regional generation expansion planning model incorporating unit commitment constraints. **APPLIED ENERGY**, v. 158, p. 310–331, nov. 2015.
- KUCZYNSKI, S.; HENDEL, J. **APPLICATION OF MONTE CARLO SIMULATIONS FOR ECONOMIC EFFICIENCY EVALUATION OF CARBON DIOXIDE ENHANCED OIL RECOVERY PROJECTS**. GEOCONFERENCE ON SCIENCE AND TECHNOLOGIES IN GEOLOGY, EXPLORATION AND MINING, VOL I.2014
- LI, C.; LU, G.; WU, S. The investment risk analysis of wind power project in China. **RENEWABLE ENERGY**, v. 50, p. 481–487, 2013.
- LI, C.; GE, X.; ZHENG, Y.; XU, C.; REN, T.; SONG, C.; YANG, C. Techno-economic feasibility study of autonomous hybrid wind/PV/battery power system for a household in Urumqi, China. **Energy**, v. 55, p. 263–272, 2013.
- LIAO, Z. The evolution of wind energy policies in China (1995-2014): An analysis based on policy instruments. **RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS**, v. 56, p. 464–472, 2016.
- LONCAR, D.; MILOVANOVIC, B. R.; RAKIC, B.; RADJENOVIC, T. Compound real options valuation of renewable energy projects: The case of a wind farm in Serbia. **RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS**, v. 75, p. 354–367, 2017.

MACEDO, M. N. Q. et al. Demand side management using artificial neural networks in a smart grid environment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 41, p. 128–133, 2015.

MANOBEL, B. et al. Wind turbine power curve modeling based on Gaussian Processes and Artificial Neural Networks. **Renewable Energy**, v. 125, p. 1015–1020, 2018.

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

MIGUEL, C.; AUGUSTO, P. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Production**, v. 17, p. 216–229, 2007.

MIGUEL, P.A.C.; FLEURY, A.; MELLO, C.H.O.; NAKANO, D.N.; TURRIONI, J.B.; LEE HO, L.; MORABITO, R.; MARTINS, R.A.; PUREZA, V. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

MIGNON, I.; BERGEK, A. Investments in renewable electricity production: The importance of policy revisited. **RENEWABLE ENERGY**, v. 88, p. 307–316, 2016.

MOKHTAR, B. Active and reactive power neurocontroller for grid-connected photovoltaic generation system. **Journal of electrical Systems**, v. 1, n. August 1955, p. 146–157, 2016.

MOMEN, M. SHIRINBAKSH, M.; BANIASSADI, A.; BEHBAHANI-NIA, A. Application of Monte Carlo method in economic optimization of cogeneration systems - Case study of the CGAM system. **APPLIED THERMAL ENGINEERING**, v. 104, p. 34–41, jul. 2016.

MONTES, G. M.; MARTIN, E. P.; BAYO, J. A.; GARCIA, J. O. The applicability of computer simulation using Monte Carlo techniques in windfarm profitability analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 9, p. 4746–4755, 2011.

MONTINI, M. J. **MAPEAMENTO E ANALISE CRITICA DO PROCESSO DE AVALIAÇÃO DE INVESTIMENTOS: UM ESTUDO DE CASO**. 2015. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Administração, Puc-sp, Sao Paulo, 2015

MOTTA, R. R., CALÔBA, G. M. **Análise de investimentos: tomada de decisão em projetos industriais**. Atlas. 2002.

MOREIRA, D. F. S. **Implementação de Microgeração no Sector Residencial**. 2010. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2010

NAGOAOKA, M. P. T.; ESPERANCINI, M. S. T.; VIRGENS FILHO, J. S.; MAGALHÃES, A. M.; NAGAOKA, M. E.; GUERRA, S. F. S. Análise De Viabilidade Econômica Em Co-Geração De Energia Elétrica. **Revista de Engenharia Florestal**, v. V, n. 9, 2007.

NETO, A. A. **Matemática Financeira e Suas Aplicações**. São Paulo: Atlas. 2006.

ONDRACZEK, J.; KOMENDANTOVA, N.; PATT, A. WACC the dog: The effect of financing the levelized cost of solar PV power. **Renewable Energy**, v. 75, 2013.

OSMANI, A; ZHANG, J.; GONELA, V.; AWUDU, I. Electricity generation from renewables in the United States: Resource potential, current usage, technical status, challenges, strategies, policies, and future directions. **RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS**, v. 24, p. 454–472, 2013.

OZGUR, M. A. ANN-based evaluation of wind power generation: A case study in Kutahya, Turkey. **Journal of Energy in Southern Africa**, v. 25, n. 4, p. 11–22, 2014.

PEARCE, F. **O aquecimento global**. São Paulo-SP: Publifolha, 2002. 72p

PEREIRA, E. J. S.; PINHO, J. T.; GALHARDO, M. A. B.; MACÊDO, W. N. Methodology of risk analysis by Monte Carlo Method applied to power generation with renewable energy. **Renewable Energy**, v. 69, p. 347–355, 2014.

PEREIRA, I. Q. G. **Condições de viabilidade da microgeração eólica em zonas urbanas**. 2011. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2011.

PEREIRA, L. C.; LUSVARGHI, S. A. S; ARANGO, L. G.; ARANGO, H.; BONATTO, B. D. Socioeconomic analysis of incentive public policies for the use of renewable energy per consumer class in Brazil. **2015 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Latin America, ISGT LATAM 2015**, p. 57–62, 2016.

PETITET, M.; FINON, D.; JANSSEN, T. Carbon Price instead of Support Schemes : Wind Power. **The Energy Journal**, v. 37, n. 4, p. 109–140, 2016.

PETKOVIĆ, D.; SHAMSHIRBAND, S.; KAMSIN, A.; LEE, M.; ANICIC, O.; NIKOLIC, V. Survey of the most influential parameters on the wind farm net present value (NPV) by adaptive neuro-fuzzy approach. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 57, p. 1270–1278, 2016.

PINTO, J. T. M.; AMARAL, K. J.; JANISSEK, P. R. Deployment of photovoltaics in Brazil: Scenarios, perspectives and policies for low-income housing. **Solar Energy**, v. 133, p. 73–84, 2016.

PLATON, V.; CONSTANTINESCU, A. Monte Carlo Method in Risk Analysis for Investment Projects. **Procedia Economics and Finance**, v. 15, n. 14, p. 393–400, 2014.

PFENNINGER, S.; KEIRSTEAD, J. Renewables, nuclear, or fossil fuels? Scenarios for Great Britain's power system considering costs, emissions and energy security. **APPLIED ENERGY**, v. 152, p. 83–93, 2015.

POPP, D. Induced Innovation and Energy Prices. **American Economic Review**, [s.l.], v. 92, n. 1, p.160-180, fev. 2002. American Economic Association

PŠUNDER, I.; CIRMAN, A. DISCOUNT RATE WHEN USING METHODS BASED ON DISCOUNTED CASH FLOW FOR THE PURPOSE OF REAL ESTATE INVESTMENT ANALYSIS AND VALUATION. **GEODETSKI VESTNIK**, v. 55, n. 3, p. 561–575, 2011.

REICHELSTEIN, S.; YORSTON, M. The prospects for cost competitive solar PV power. **Energy Policy**, v. 55, p.117-127, 2013.

REN, J.; SOVACOL, B. K. Prioritizing low-carbon energy sources to enhance China's energy security. **ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT**, v. 92, p. 129–136, mar. 2015.

REZZOUK, H.; MELLIT, A. Feasibility study and sensitivity analysis of a stand-alone photovoltaic – diesel – battery hybrid energy system in the north of Algeria. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 43, p. 1134–1150, 2015.

ROCHA, L. C. S.; AQUILA, G.; ROTELA JUNIOR, P.; PAIVA, A. P.; PAMPLONA, E. O.; BALESTRASSI, P. P. A stochastic economic viability analysis of residential wind power generation in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 90, 2018.

ROCHA, L. C. S.; AQUILA, G.; PAMPLONA, E. O.; PAIVA, A. P.; CHIEREGATTI, B. G.; LIMA, J. S. B. Photovoltaic electricity production in Brazil: A stochastic economic viability analysis for small systems in the face of net metering and tax incentives. **Journal of Cleaner Production**, v. 168, p. 1448–1462, 2017.

RODRIGUES, S.; CHEN, X.; MORGADO-DIAS, F. Economic analysis of photovoltaic systems for the residential market under China's new regulation. **Energy Policy**, v. 101, n. October, p. 467–472, 2017.

ROSS, S. A.; WESTERFIELD, R. W.; JORDAN, B. D. **Fundamentals of Corporate Finance**. 6. ed. Mcgraw-hill H I Gher Education, 2002. 104-337 p.

RUTTEN, C. J.; STEENEVELD, W.; INCHAI SRI, C.; HOGEVEEN, H. An ex ante analysis on the use of activity meters for automated estrus detection: To invest or not to invest? **JOURNAL OF DAIRY SCIENCE**, v. 97, n. 11, p. 6869–6887, nov. 2014.

SAHIN, A. D. Progress and recent trends in wind energy. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 30, n. 5, p. 501–543, 2004.

SANTOS, M. J.; FERREIRA, P.; ARAÚJO, M.; PORTUGAL-PEREIRA, J.; LUCENA, A. F. P.; SCHAEFFER, R. Scenarios for the future Brazilian power sector based on a multi-criteria assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 167, p. 938–950, 2018.

SARAIVA JÚNIOR, A. F.; TABOSA, C. DE M.; COSTA, R. P. DA. Monte Carlo simulation applied to order economic analysis. **Production**, v. 21, n. 1, p. 149–164, 2011.

SAUTER, R.; WATSON, J. Strategies for the deployment of micro-generation: Implications for social acceptance. **ENERGY POLICY**, v. 35, n. 5, p. 2770–2779, 2007.

SCHMIDT, T. S.; BORN, R.; SCHNEIDER, M. Assessing the costs of photovoltaic and wind power in six developing countries. **Nature Climate Change**, v. 2, n. 7, p. 548–553, 2012.

SCHWENKE, H.; SIEBERT, F.; KUNZMANN, H. Assessment of uncertainties in dimensional metrology by Monte Carlo simulation: proposal of a modular and visual software. **CIRP Annals-Manufacturing Technology**, v. 49, n. 1, p. 395–398, 2000.

SEBRAE. **Guia de energia solar fotovoltaica: Aplicação nas micro e pequenas empresas**. 2016. Disponível em <[http://sustentabilidade.sebrae.com.br/Sustentabilidade/Para%20sua%20empresa/Publica%C3%A7%C3%B5es/Guias%20e%20manuais/Guia%20de%20energia%20solar%20fotovoltaica_15x21cm%20fechado%20\(2\).pdf](http://sustentabilidade.sebrae.com.br/Sustentabilidade/Para%20sua%20empresa/Publica%C3%A7%C3%B5es/Guias%20e%20manuais/Guia%20de%20energia%20solar%20fotovoltaica_15x21cm%20fechado%20(2).pdf)>. Acesso em 20 de dezembro de 2017.

SEBRAE. **Perfil das microempresas e empresas de pequeno porte**. 2018a.

SEBRAE. **Racionamento de água e consumo de energia elétrica**. 2018b

SHARPE, W. Capital asset prices: a theory of market equilibrium under conditions of risk. **J. Finance**, 19, 3, 425–442, 1964.

SILVA, N. F.; ROSA, L. P.; FREITAS, M. A. V.; PEREIRA, M. G. Wind energy in Brazil: From the power sector's expansion crisis model to the favorable environment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 22, p. 686–697, 2013.

SILVA, R. C.; MARCHI NETO, I.; SEIFERT, S. S. Electricity supply security and the future role of renewable energy sources in Brazil. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 59, p.328–341, jun. 2016.

SINGH, V. Application of Artificial Neural Networks for Predicting Generated Wind Power. **INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED COMPUTER SCIENCE AND APPLICATIONS**, v. 7, n. 3, p. 250–253, mar. 2016.

SPINNEY, P. J.; WATKINS, G. C. Monte Carlo simulation techniques and electric utility resource decisions. **Energy Policy**, v. 24, n. 2 SPEC. ISS., p. 155–163, 1996.

TAMPAKIS, S.; TSANTOPOULOS, G.; ARABATZIS, G.; RERRAS, I. Citizens' views on various forms of energy and their contribution to the environment. **RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS**, v. 20, p. 473–482, 2013.

TAN, Z.; ZHANG, H.; SONG, Y.; YU, C. Potential and policy issues for sustainable development of wind power in China. **JOURNAL OF MODERN POWER SYSTEMS AND CLEAN ENERGY**, v. 1, n. 3, p. 204–215, 2013.

TAO, J. Y.; FINENKO, A. Moving beyond LCOE: impact of various financing methods on PV profitability for SIDS. **Energy Policy**, v. 98, p. 749–758, 2016.

TIMILSINA, G. R.; VAN KOOTEN, G. C.; NARBEL, P. A. Global wind power development: Economics and policies. **ENERGY POLICY**, v. 61, p. 642–652, 2013.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos Estudos - Cebrap**, n. 79, p.47-69, nov. 2007. FapUNIFESP (SciELO)

VELÁZQUEZ, S.; CARTA, J. A.; MATÍAS, J. M. Influence of the input layer signals of ANNs on wind power estimation for a target site: A case study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 3, p. 1556–1566, 2011.

WANG, L.; KISI, O.; ZOUNEMAT-KERMANI, M.; SALAZAR, G. A.; ZHU, Z.; GONG, W. Solar radiation prediction using different techniques: Model evaluation and comparison. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 61, p. 384–397, 2016.

WALTERS, R.; WALSH, P. R. Examining the financial performance of micro-generation wind projects and the subsidy effect of feed-in tariffs for urban locations in the United Kingdom. **ENERGY POLICY**, v. 39, n. 9, p. 5167–5181, 2011.

WESTNER, G.; MADLENER, R. Development of cogeneration in Germany: A mean-variance portfolio analysis of individual technology's prospects in view of the new regulatory framework. **Energy**, v. 36, n. 8, p. 5301–5313, 2011.

XUE, B.; MA, Z.; GENG, T.; HECK, P.; REN, W.; TOBIAS, M.; MAAS, A.; JIANG, P.; OLIVEIRA, J. A. P.; FUJITA, T. A life cycle co-benefits assessment of wind power in China. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 41, p.338-346, jan. 2015.

YAN, X.; ABBES, D.; FRANCOIS, B. Uncertainty analysis for day ahead power reserve quantification in an urban microgrid including PV generators. **Renewable Energy**, v. 106, p. 288–297, 2017.

YUAN, F.-C. Simulation-optimization mechanism for expansion strategy using real option theory. **EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS**, v. 36, n. 1, p. 829–837, jan. 2009.

ZHANG, S.; ZHAO, X.; ANDREWS-SPEED, P.; HE, Y. The development trajectories of wind power and solar PV power in China: A comparison and policy recommendations. **RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS**, v. 26, p. 322–331, 2013.