

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA: MODELO
CONCEITUAL PARA PROJETOS DE ENERGIA EÓLICA**

DAVID CASSIMIRO DE MELO

NATAL
2017

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA: MODELO
CONCEITUAL PARA PROJETOS DE ENERGIA EÓLICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção, como requisito para obtenção do Título de Engenheiro de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Orientador(a): Prof. Dr. Mario Orestes Aguirre González

DAVID CASSIMIRO DE MELO

NATAL
2017

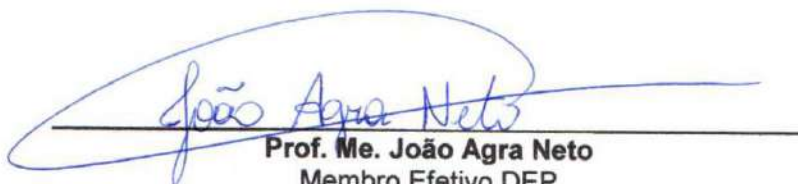
ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Ao(s) **24º dia do mês de novembro de 2017**, nas dependências da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, foi realizada a sessão pública de apresentação e defesa do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado de **Estudo de Viabilidade Técnico-Econômica: Modelo Conceitual para Projetos de Energia Eólica**, autoria do acadêmico **David Cassimiro de Melo**. A Banca Examinadora foi formada pelo **Prof. Dr. Mario Orestes Aguirre Gonzalez** (orientador) e os convidados **Prof. Me. João Agra Neto** e **Me. Marrison Gabriel Guedes de Souza**. Após apresentação e arguição e tendo o aluno respondido satisfatoriamente aos questionamentos, o trabalho foi considerado Aprovado com nota final 9,5, cumprindo assim o requisito final para a conclusão do curso de Engenharia de Produção desta Universidade. Nada mais havendo a tratar, encerrou-se a presente sessão lavrando-se a presente ata.

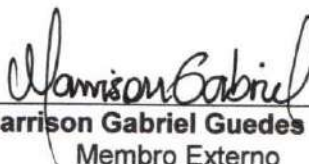
Natal, 24/11/2017



Prof. Dr. Mario Orestes Aguirre Gonzalez
Presidente da banca



Prof. Me. João Agra Neto
Membro Efetivo DEP



Me. Marrison Gabriel Guedes de Souza
Membro Externo



David Cassimiro de Melo
Acadêmico

Reitor da Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof.^a. Dr.^a. Ângela Maria Paiva Cruz

Diretor do Centro de Tecnologia
Prof. Dr. Luiz Alessandro Pinheiro da Câmara de Queiroz

Coordenador do Curso de Engenharia de Produção
Prof. Dr. Werner Kleyson da Silva Soares

Coordenador de Trabalho de Conclusão de Curso
Prof. Dr. Werner Kleyson da Silva Soares

Orientação
Prof. Dr. Mario Orestes Aguirre González

Ficha Catalográfica

Melo, David Cassimiro de.

Estudo de viabilidade técnico-econômica: modelo conceitual para projetos de energia eólica / David Cassimiro de Melo. - 2017.

70 f.: il.

Monografia (graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia de Produção. Natal, RN, 2017.

Orientador: Prof. Dr. Mario Orestes Aguirre González.

1. Energia eólica - Monografia. 2. Energias renováveis - Monografia. 3. Viabilidade econômica - Monografia. 4. Projetos de energia renovável - Monografia. 5. Avaliação técnico-econômica - Monografia. I. González, Mario Orestes Aguirre. II. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 621.548

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, por me conceder saúde, sabedoria e calma durante esses cinco anos de graduação. Pela oportunidade de conhecer pessoas que fizeram diferença durante minha trajetória como aluno de graduação, por me conceder estudar em uma das melhores universidades do país, tendo acesso a um ensino de qualidade.

A minha mãe, Doraline Cassimiro de Melo, e meu irmão, Fernando Antonio de Melo Filho por me inspirarem diariamente com seus valores, por lutarem (mesmo diante de todas as dificuldades da vida) para me concederem o melhor que podem, por toda a paciência, conselhos e apoio dado na minha vida pessoal e acadêmica.

A minha namorada, Luana Aladim de Luna, por me ensinar sempre que por trás de um relacionamento sólido, existe companheirismo. Agradeço por estar ao meu lado, me apoiando durante toda essa trajetória, entendendo minhas ausências e os momentos de estresse.

Ao meu orientador, o professor Mario Orestes Aguirre González, por todos grandes ensinamentos, orientações, apoio, confiança, incentivos e por me acompanhar desde o início da minha vida acadêmica dentro da UFRN. O considero como um pai que a UFRN me apresentou e procuro me inspirar, principalmente, em sua postura profissional e na sua felicidade em realizar suas atividades.

Aos meus grandes amigos por todo esse tempo de convívio e companheirismo durante o período acadêmico, por compartilharem muitas alegrias, dúvidas, inseguranças, medos, aprendizados. Em especial, agradeço a Bárbara Lorena Macêdo de Oliveira, Camila Farias Fernandes, Filippi de Melo Motta, Karinne Lucena de Sena, Laíza Cláudia Barbosa de Macedo, Marcel Alison Pimenta Bastos Cabral de Medeiros, Marcelle Moreno Moreira e Victor Francisco Sabino de Araújo Lima. Obrigado por me acompanharem a até aqui.

Ao corpo docente do curso de Engenharia de Produção da UFRN por todo os ensinamentos repassados dentro e fora da sala de aula. Em especial aos professores João Agra Neto, Luciano Queiroz de Araújo Júnior, Herbert Ricardo Garcia Viana, Wattson Jose Saenz Peralez, Marco Antonio Leandro Cabral e Claudia Aparecida Cavalheiro Francisco.

Aos amigos do Grupo de Pesquisa Cri-Ação por todos os conhecimentos construídos e compartilhados e que contribuíram para a construção deste trabalho. Em especial a Rafael Monteiro, Joeberson Gonçalves, Raimundo Bessa, Marrison Gabriel, Guilherme Martins e Marllen Aylla.

O pessimista reclama do vento, o
otimista espera que ele mude, o
realista ajusta as velas.

(William George Ward)

RESUMO

As fontes renováveis de energia têm aumentado a sua importância no mundo não apenas devido a questões ambientais, mas também econômicas. A eletricidade, por sua vez, produto gerado por essas fontes, é tratada como uma mercadoria, sendo comprada e vendida no mercado e enfrentando variações de preço conforme sua demanda. Por esse motivo e para a continuidade do crescimento deste setor, torna-se necessário planejar como esses projetos para geração de energia, a partir de fontes renováveis, se comportarão durante o seu ciclo de vida. Nesse contexto, os estudos de viabilidade técnico-econômica são fundamentais para identificar quais projetos de energia eólica são mais eficientes e eficazes. O presente trabalho tem por objetivo propor um modelo conceitual para o estudo de viabilidade técnico-econômica em projetos de energia eólica. Trata-se de uma pesquisa teórica, por ter sido desenvolvida com base em artigos científicos. O método é caracterizado como revisão bibliográfica sistemática, reunindo 39 artigos sobre o tema de análise de viabilidade técnico-econômica. Em relação ao seu objetivo, o estudo é classificado como descritivo, uma vez que se detém a identificação, registro e análise dos fatos e variáveis envolvidas nos estudos de viabilidade. Quanto a sua abordagem, é classificado como uma pesquisa qualitativa, pois busca compreender e interpretar como estão sendo realizados os estudos de viabilidade técnico-econômica no setor de energia e, em específico, em projetos de energia eólica. Como resultado tem-se a proposta de um modelo conceitual, para estudo de viabilidade técnico-econômica que compreende cinco fases: avaliação da disponibilidade de recurso eólico; coleta dos elementos econômicos e técnicos; definição de cenários; análise dos métodos de viabilidade econômica e técnica; detalhamento do projeto.

Palavras-chave: viabilidade econômica; energias renováveis; projetos de energia renovável; avaliação técnico-econômica.

ABSTRACT

Renewable energy sources have increased their importance in the world not only because of environmental issues but also economic ones. Electricity, in turn, product generated by these sources, is treated as a commodity, being bought and sold in the market and facing price variations according to its demand. For this reason and for the continued growth of this sector, it is necessary to plan how these renewable energy projects will behave during their life cycle. In this context, technical-economic feasibility studies are fundamental to identify which wind power projects are most efficient and effective. The present work aims to propose a conceptual model for the analysis of technical-economic feasibility in wind energy projects. This is a theoretical research, because it was developed based on scientific articles. The method is characterized as a bibliographical review, gathering 39 articles on the topic of technical-economic viability analysis. In relation to its objective, the study is classified as descriptive, since it identifies, records and analyzes the facts and variables involved in the feasibility studies. As for its approach, it is classified as a qualitative research, since it seeks to understand and interpret how the technical-economic viability analyzes are being carried out in the energy sector and, specifically, in wind energy projects. As a result, we propose a conceptual model for the analysis of technical-economic feasibility, which comprises five phases necessary to carry out this type of study, such as: wind resource availability evaluation; collection of economic and technical parameters; scenario definition; analysis of methods of economic and technical feasibility; implementation of the project.

Keywords: economic feasibility; renewable energy; renewable energy projects; technical-economic evaluation.

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Classificação do método de pesquisa.....	23
Quadro 02 – Elementos de entrada para estudo de viabilidade econômica	46
Quadro 03 – Elementos de entrada para estudo de viabilidade técnica.....	48
Quadro 04 – Métodos de análise de viabilidade econômica.....	49
Quadro 05 – Métodos de análise de viabilidade técnica.....	51
Quadro 06 – Elementos de entrada econômicos e técnicos.....	55
Quadro 07 – Métodos de viabilidade técnico-econômico.....	58

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Capacidade instalada em MW.....	21
Gráfico 02 – Publicações por ano.....	42
Gráfico 03 – Distribuição geográfica dos autores.....	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Principais atividades geradoras de gases efeito estufa.....	16
Figura 02 – Capacidade acumulada em energia eólica no mundo em 2016.....	18
Figura 03 – Matriz energética brasileira em GW.....	20
Figura 04 – Procedimento da pesquisa.....	26
Figura 05 – Evolução do tamanho e potência dos aerogeradores.....	29
Figura 06 – Composição de um aerogerador.....	30
Figura 07 – Requisitos para o desenvolvimento de empreendimentos eólicos.....	32
Figura 08 – Procedimento de prospecção para empreendimentos eólicos no Brasil.....	32
Figura 09 – Curva de Potência de um Aerogerador.....	39
Figura 10 – Modelo conceitual para estudos de viabilidade técnico-econômica em projetos eólicos.....	53

LISTA DE FÓRMULAS

Fórmula 01 – Cálculo do VPL.....	34
Fórmula 02 – Cálculo da TIR.....	34
Fórmula 03 – Cálculo do ROI.....	36
Fórmula 04 – Cálculo do LCC.....	36
Fórmula 05 – VPL expandido.....	38
Fórmula 06 – Distribuição de Weibull.....	39
Fórmula 07 – Cálculo do parâmetro k	40
Fórmula 08 – Cálculo do parâmetro c	40
Fórmula 09 - Cálculo da função $f(a)$	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Palavras-chaves utilizadas na busca de artigos.....	27
Tabela 02 – Distribuição geográfica dos autores.....	44
Tabela 03 – Publicações por periódico.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAPEX – *Capital Expenditures*

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPL – Custo Presente Líquido

GWEC – *Global Wind Energy Council*

IEA – *International Energy Agency*

IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

LCC – *Life Cycle Cost*

LCOE – *Levelized Cost of Energy*

MW – Megawatt

O&M – Operação e Manutenção

OPEX – *Operational Expenditures*

RBS – Revisão Bibliográfica Sistemática

ROI – Retorno sobre Investimento

SPHAN – Serviço do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

TIR – Taxa Interna de Retorno

TMA – Taxa Mínima de Atratividade

VPL – Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	16
1.1 APRESENTAÇÃO.....	16
1.2 OBJETIVOS.....	19
1.2.1 OBJETIVO GERAL	19
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.3 JUSTIFICATIVA.....	19
1.4 ESTRUTURA DE APRESENTAÇÃO DO TRABALHO.....	22
CAPÍTULO 2 - MÉTODO DA PESQUISA	23
2.1 CLASSIFICAÇÃO DO MÉTODO DE PESQUISA.....	23
2.2 PROCEDIMENTO DA PESQUISA.....	26
CAPÍTULO 3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	28
3.1 ENERGIA EÓLICA.....	28
3.2 COMPONENTES E FUNCIONAMENTO DO AEROGERADOR.....	30
3.3 PROSPECÇÃO DE EMPREENDIMENTOS EÓLICOS.....	31
3.4 MÉTODOS DE ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA.....	34
3.4.1 VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL).....	34
3.4.2 TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)	35
3.4.3 PERÍODO PAYBACK	35
3.4.4 RETORNO SOBRE INVESTIMENTO (ROI)	36
3.4.5 LIFE CYCLE COST (LCC)	36
3.4.6 OPÇÕES REAIS	38
3.5 MÉTODOS DE ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA.....	39
3.5.1 CURVA DE POTÊNCIA DO AEROGERADOR	39
3.5.2 DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL.....	40
3.5.3 CUSTO NIVELADO DE ENERGIA (LCOE).....	41
CAPÍTULO 4 - ESTADO DO ARTE	42
4.1 CLASSIFICAÇÃO DOS ARTIGOS.....	42
4.1.1 PUBLICAÇÕES POR ANO	42
4.1.2 DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA	43
4.1.3 PUBLICAÇÕES POR PERIÓDICO	45
4.1.4 ELEMENTOS DE ENTRADA PARA ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA	46
4.1.5 ELEMENTOS DE ENTRADA PARA ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA	47
4.1.6 MÉTODOS DE ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA	49
4.1.7 MÉTODOS DE ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA	50
CAPÍTULO 5 - RESULTADOS.....	53
5.1 MODELO CONCEITUAL.....	53
5.1.1 AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE RECURSO EÓLICO	55
5.1.2 COLETA DOS ELEMENTOS ECONÔMICOS E TÉCNICOS	56
5.1.3 DEFINIÇÃO DE CENÁRIOS.....	57
5.1.4 ANÁLISE DOS MÉTODOS DE VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICOS	59
5.1.5 DETALHAMENTO DO PROJETO.....	61
CAPÍTULO 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	63
REFERÊNCIAS	66

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

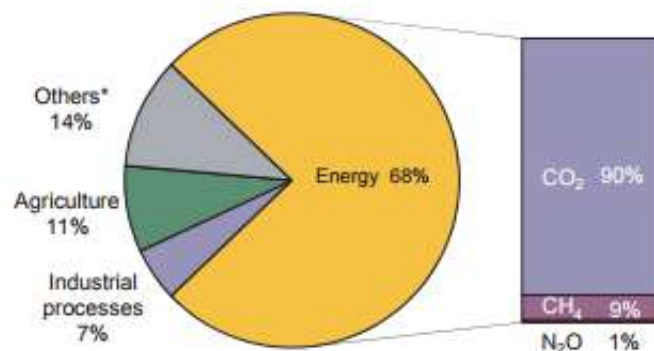
Este capítulo tem por objetivo introduzir o leitor ao tema estudado a partir da sua contextualização, apresentando a importância da energia eólica como uma fonte renovável de energia e como ela tem se desenvolvido mundialmente. Em seguida, são apresentados o objetivo geral, os objetivos específicos, a justificativa deste trabalho e, por fim, a organização da monografia.

1.1 Apresentação

A energia é considerada um importante assunto quando se trata do desenvolvimento social e econômico de qualquer país (MAMAGHANI *et al.*, 2016; GONZÁLEZ *et al.*, 2017). Tratando-se dos tipos de energia, a eletricidade representa uma grande parcela de energia utilizada pela humanidade, estimada em 12% em 2008, devendo crescer até 34% em 2025 (IEA, 2010). Todo esse crescimento no consumo de eletricidade levanta uma preocupação social, principalmente, quanto a queima contínua de combustíveis fósseis para a geração de eletricidade (MAMAGHANI *et al.*, 2016).

A *International Energy Agency* (IEA) em seu relatório de emissão de CO₂ a partir da queima de combustíveis emitido em 2016, aponta que 68% da emissão de gases, os quais aceleram o efeito estufa, são provenientes da produção de energia. Apenas o dióxido de carbono (CO₂) representa 90% de todos os gases gerados na queima de combustíveis para a produção de eletricidade. Na figura 01, é possível observar o resultado completo do estudo.

Figura 01 – Principais atividades geradoras de gases efeito estufa.



Fonte: (IEA, 2016).

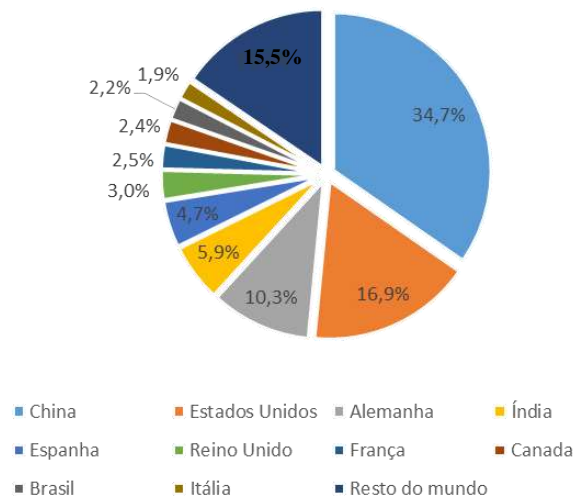
Os governos e indústrias em todo o mundo já reconhecem que os níveis cada vez mais crescentes de dióxido de carbono na atmosfera causados pela atividade humana provocará mudanças significativas no clima da Terra (HESSAMI; BOWLY, 2010). Com a poluição ambiental gerada pelos combustíveis fósseis, e a degradação causada por eles a natureza, a busca por energia alternativa e limpa se torna necessária para atender a atual demanda de energia (LI *et al.*, 2013; GONZÁLEZ; GONÇALVES; VASCONCELOS, 2017).

Dentre as fontes de energia alternativa e limpa, como forma de reduzir a emissão de gases efeito estufa a partir da produção de eletricidade, destaca-se a energia eólica. Ela é considerada um recurso renovável, sem produzir emissões de gases de efeito estufa (HESSAMI; BOWLY, 2010). Tratando-se não apenas da energia eólica, mas também da solar, essas energias renováveis permitem as regiões com bons recursos de vento e sol promoverem o seu desenvolvimento sustentável, reduzindo a dependência da energia baseada em combustíveis fósseis (SHAAHI; AL-HADRAMI; RAHMAN, 2012; GONZÁLEZ; GONÇALVES; VASCONCELOS, 2017; SAMPAIO; GONZÁLEZ, 2017).

Quanto aos países investidores nesse tipo de energia, é possível observar tanto os em desenvolvimento como os desenvolvidos em busca dessas fontes renováveis. Em 2011, a participação de países em desenvolvimento em novos investimentos de fontes renováveis foi de US\$ 89 bilhões em comparação com US\$ 168 bilhões em países desenvolvidos, resultando numa capacidade total global de 1370 GW ao final desse ano (MOHAMMADI; MOSTAFAEIPOUR, 2013).

A *Global Wind Energy Council* (GWEC) publicou um estudo apresentando os 10 principais países em termos de capacidade acumulada em produção de energia eólica. O resultado é apresentado na figura 02.

Figura 02 – Capacidade acumulada em energia eólica no mundo em 2016.

CAPACIDADE ACUMULADA EM ENERGIA EÓLICA (%)

Fonte: (GWEC, 2016) – tradução própria.

A China lidera com uma capacidade instalada de 168 GW, seguida dos Estados Unidos com 82 GW e, em terceiro lugar, a Alemanha com 50 GW. O Brasil assume a nona posição com 10 GW de capacidade instalada (GWEC, 2016).

Ademais, é importante destacar que as fontes renováveis de energia têm aumentado a sua importância no mundo não apenas devido a questões ambientais, mas também econômicas. As aplicações efetivas de fontes renováveis de energia têm sido utilizadas em aplicações de produção independente de energia elétrica com fins de comercialização (FERREIRA, 2008). A eletricidade é comprada e vendida como qualquer outra mercadoria e seus preços variam conforme o comportamento da oferta e da demanda (HESSAMI; BOWLY, 2010).

Por esse motivo e para a continuidade do crescimento deste setor, é necessário planejar como esses projetos se comportarão durante o seu tempo de vida. Fatores como demanda por energia, produção de energia e incentivos governamentais, podem afetar o desempenho desses projetos. Nesse contexto, os estudos de viabilidade técnico-econômica apresentam-se adequados e propõem avaliar e tornar projetos dessa natureza mais eficientes e eficazes, no retorno dos seus investimentos, controlando as variáveis mais impactantes nos empreendimentos de energia eólica.

Para tanto, os estudos de viabilidade técnico-econômica, conforme observado na literatura, utilizam, principalmente, métodos tradicionais como: VPL, TIR, *Payback*, LCOE, LCC. Em contrapartida, sabendo da existência de outros métodos de viabilidade técnico-econômica e observando a sua baixa disseminação na literatura, levanta-se o seguinte problema de pesquisa: **Quais métodos de viabilidade técnico-econômica podem ser aplicados aos estudos de viabilidade de projetos de energia eólica?**

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Propor um modelo conceitual para estudo de viabilidade técnico-econômica em projetos de energia eólica no mundo.

1.2.2 Objetivos Específicos

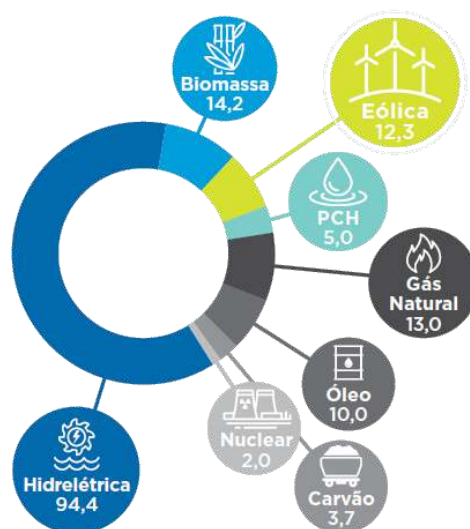
- Realizar um levantamento bibliográfico sobre os métodos de estudo de viabilidade técnico-econômica utilizados em projetos de energias renováveis;
- Construir uma base teórica sobre: os princípios da energia eólica e métodos de análise de viabilidade técnico-econômica;
- Estruturar um modelo conceitual de estudo de viabilidade técnico-econômica para projetos de energia eólica no mundo, a partir da revisão bibliográfica sistemática.

1.3 Justificativa

A energia eólica ganhou força como fonte complementar em países emergentes, além de já ser realidade nos países desenvolvidos (ABEEÓLICA, 2017). Diante do cenário atual, a fonte de geração a partir dos ventos demonstra evolução no Brasil em regiões onde o desenvolvimento regional é pequeno ou quase inexistente (VASCONCELOS, 2016).

O desenvolvimento dessa fonte renovável pode ser notado quando observamos a composição da matriz energética brasileira. Sobre a energia gerada, a fonte eólica apresenta-se em quarto lugar com 12,3 GW, representando 8% da matriz brasileira. As três primeiras posições são ocupadas pelas fontes hidrelétrica, biomassa e gás natural, respectivamente. A figura 03. apresenta a divisão completa da matriz elétrica brasileira. É possível perceber que o país ainda é muito dependente da fonte hidrelétrica, a qual representa 61,1% de toda energia gerada.

Figura 03 – Matriz energética brasileira em GW.

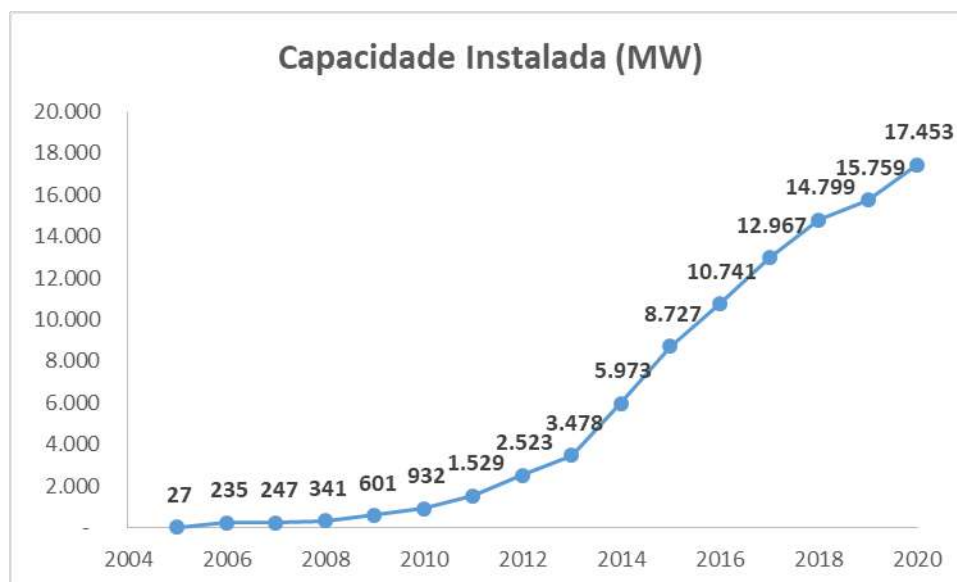


Fonte: ABEEÓLICA (2017).

Em 2016, a energia eólica foi responsável pelo abastecimento de, em média, 18 milhões de residências por mês, beneficiando o equivalente a cerca de 54 milhões de habitantes (ABEEÓLICA, 2017). Ainda de acordo com a Abeeólica, quando se fala da região brasileira com maior concentração de parques eólicos, a região nordeste, 64% da energia consumida nessa região foi proveniente da fonte eólica.

A energia eólica vem atingindo patamares mais altos quando se trata da sua importância no contexto econômico e social. Em termos de capacidade instalada, a ABEEÓLICA (2017) estima um acúmulo de 17.452,8 MW até 2020 no Brasil, conforme exposto no gráfico 01. Para atingir esse potencial, serão mais de 230 novos parques eólicos até 2020. Todo esse investimento permitirá desenvolver as comunidades locais, gerando mais 50 mil novos postos de trabalho.

Gráfico 01 – Capacidade Instalada em MW.



Fonte: Abeeólica (2017)

Além da grande expressividade que a energia eólica vem apresentando no cenário das energias renováveis, esta pesquisa justifica-se, também, pela pequena quantidade de trabalhos publicados sobre o tema. Em adição, os trabalhos encontrados estão mais voltados a aplicação dos métodos clássicos de análise de viabilidade como VPL e TIR. Essas duas técnicas são muito limitadoras, pois não consideram os riscos inerentes aos projetos, ainda mais em projetos sem um histórico para balizar a sua análise de viabilidade (SATURNINO *et al.*, 2012).

Desse modo, esta pesquisa é justificada no nível acadêmico por tratar de um tema ainda pouco estudado, o que possibilitará o aumento de conhecimento para área de energia eólica em relação a temática de análise de viabilidade técnico-econômica. Na perspectiva econômica, esta pesquisa contribui para um melhor desenvolvimento de estudos de viabilidade técnico-econômica como forma de avaliar e tornar os projetos dessa área mais eficientes e eficazes quanto aos resultados esperados. No âmbito social, a pesquisa fornece suporte ao desenvolvimento de projetos de energias renováveis as quais apresentam-se como uma forma sustentável de produção de energia, influenciando de forma positiva na redução de emissão de dióxido de carbono na atmosfera e trazendo segurança a matriz energética do Brasil.

1.4 Estrutura de apresentação do trabalho

O trabalho está dividido em seis capítulos, a contar com esse. O primeiro capítulo introduz o leitor ao tema estudado, através da apresentação e contextualização da temática estudada, bem como a problemática, a qual a pesquisa se propõe a resolver, os objetivos e a sua justificativa.

O segundo capítulo trata do método de pesquisa, classificando-a quanto a sua natureza, procedimentos técnicos, objetivos e tipo de abordagem. No mesmo capítulo também é descrito o procedimento adotado para a busca de artigos e construção do conteúdo.

No terceiro capítulo apresenta-se a fundamentação teórica. Nesse capítulo são abordados os temas energia eólicas (quanto a sua evolução), componentes de um aerogerador, prospecção de parques eólicos e métodos de análise de viabilidade técnico-econômica. Essas informações permitiram a construção do modelo conceitual, resultado dessa pesquisa, o qual será apresentado no capítulo cinco.

O seguinte capítulo refere-se ao estado da arte. Nesta etapa da pesquisa, são apresentadas classificações sobre os estudos considerados na fase de revisão bibliográfica sistemática. São elas: publicações por ano; distribuição geográfica; publicações por periódico; elementos de entrada para estudo de viabilidade econômica; elementos de entrada para estudo de viabilidade técnica; métodos de análise de viabilidade econômica; métodos de análise de viabilidade técnica.

O capítulo cinco trata dos resultados gerados pela revisão bibliográfica sistemática. No capítulo em questão, é apresentado o modelo conceitual gerado a partir da leitura dos artigos, o qual contempla desde a análise de disponibilidade de recursos no local onde se deseja instalar o empreendimento de energia eólica até a decisão do projeto apresentar-se viável ou não. O sexto e último capítulo trata das considerações finais deste estudo.

CAPÍTULO 2 - MÉTODO DA PESQUISA

No presente capítulo será abordado o método de pesquisa utilizado para o desenvolvimento deste trabalho. Para tanto, dois tópicos serão trabalhados: classificação do método de pesquisa (posicionando a pesquisa quanto a sua natureza, procedimentos técnicos, objetivo e abordagem) e procedimento da pesquisa (abordando todas as etapas realizadas para o desenvolvimento da pesquisa).

2.1 Classificação do Método de Pesquisa

Siqueira (2017) afirma que, com relação à classificação do método de pesquisa, quatro pontos principais devem ser analisados. São eles: natureza, procedimentos técnicos, objetivo e abordagem da pesquisa. O quadro 01 apresenta um resumo de cada umas dessas classificações acompanhada das subclassificações respectivas.

Quadro 01 – Classificação do método da pesquisa.

Classificação	Subclassificação
Natureza	Básica
	Aplicada
Procedimentos técnicos	Pesquisa bibliográfica
	Pesquisa documental
	Pesquisa experimental
	Levantamento
	Estudo de campo
	Estudo de caso
	Pesquisa-ação
Objetivos da pesquisa	Exploratória
	Descritiva
	Explicativa
Abordagem da pesquisa	Quantitativa
	Qualitativa
	Quali-Quantitativa

Fonte: Siqueira (2017).

Turrioni e Mello (2012) apresentam duas classificações para a pesquisa, quanto à sua natureza: a pesquisa básica procura o progresso científico e a ampliação de conhecimentos teóricos, sem a preocupação de utilizá-los na prática; a aplicada é caracterizada por seu interesse prático. Por esse motivo, seus resultados devem ser aplicados ou utilizados imediatamente na solução de problemas que ocorrem na realidade. A partir das definições anteriores, tem-se que essa pesquisa é classificada como aplicada.

Os procedimentos técnicos, de acordo com Gil (2008) são classificados conforme os tópicos abaixo.

- **Pesquisa bibliográfica:** é aquela desenvolvida como base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos.
- **Pesquisa documental:** esse tipo de pesquisa possui semelhanças com a pesquisa bibliográfica. A diferença entre elas é quanto à natureza das fontes. Na pesquisa documental as fontes são muito mais variadas e diversas e, em alguns casos, não recebem nenhum tratamento analítico. Enquanto a pesquisa bibliográfica restringe-se a livros e artigos científicos, a documental inclui, em sua análise, materiais como cartas pessoais, diários, fotografias, gravações, memorandos, regulamento, ofícios, entre outros.
- **Pesquisa experimental:** consiste na determinação de um objeto de estudo, seleção de variáveis capazes de influenciá-lo, definição das formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz sobre o objeto. Pode ser desenvolvida em qualquer local, não se restringindo apenas a laboratórios.
- **Levantamento:** caracteriza-se pela interrogação direta das pessoas cujo comportamento deseja-se conhecer. O levantamento pode recolher informações de todos os integrantes do universo pesquisado (censo) ou de apenas uma parte dele (amostra). A definição de uma amostra significativa ao estudo ocorre mediante a utilização de procedimentos estatísticos. Com a obtenção das informações desejadas e mediante uma análise qualitativa, obtêm-se as conclusões correspondentes aos dados coletados.
- **Estudo de campo:** propõem o aprofundamento das questões propostas no início do estudo e se detém ao estudo de um único grupo, utilizando mais técnicas de observação do que de interrogação.

- **Estudo de caso:** consiste no estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, permitindo ter um conhecimento amplo e detalhado sobre o assunto.
- **Pesquisa-ação:** esse tipo de procedimento envolve o envolvimento ativo do pesquisador e a ação por parte das pessoas ou grupos envolvidos no problema.

Diante das definições acima, quanto aos procedimentos técnicos, essa pesquisa é classificada como uma revisão bibliográfica. A revisão bibliográfica, por sua vez, pode seguir uma abordagem sistemática da revisão da literatura, caracterizando uma revisão bibliográfica sistemática (RBS). A RBS pode ser caracterizada como um meio de avaliar e interpretar todas as pesquisas relevantes para uma determinada questão de pesquisa, área, ou fenômeno de interesse (KITCHENHAM, 2004; GONZÁLEZ, 2010; GONZÁLEZ; TOLEDO, 2012).

Kitchenham (2004) ainda afirma que em uma RBS existem os chamados estudos primários e o estudo secundário. Os primários são estudos individuais que contribuem com a RBS e o secundário refere-se a própria revisão sistemática. Por meio do estudo secundário é possível acumular evidências as quais podem oferecer novas ideias ou identificar onde determinados assuntos podem ser aprimorados a partir de estudos primários adicionais (BRERETON *et al.*, 2006).

Quanto aos seus objetivos, a pesquisa pode ser: exploratória, visando proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torna-lo explícito ou a construir hipóteses; descritiva, a qual delinea e descreve as características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis; explicativa, aprofunda o conhecimento da realidade e explica o porquê dos acontecimentos a partir da identificação dos fatores que determinam e contribuem para a ocorrência de um determinado fenômeno (TURRIONI; MELLO, 2012). Neste quesito, essa pesquisa é classificada como descritiva.

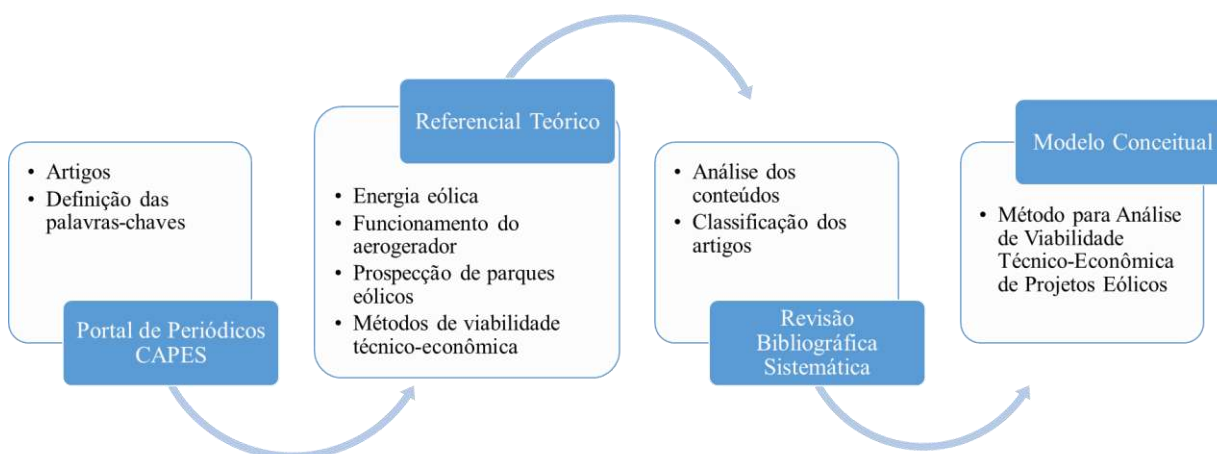
Por fim, tratando-se da abordagem da pesquisa, essa pode ser: qualitativa, apropriada para o entendimento de fenômenos complexos específicos, em profundidade, de natureza social e cultural, mediante descrições, interpretações e comparações, sem considerar aspectos numéricos; quantitativa, considera variáveis expressas sob a forma de dados numéricos e emprega técnicas estatísticas como forma de classificá-los e analisá-los (FONTELLES *et al.*, 2009); quali-quantitativa, sendo expressa como uma combinação das duas abordagens. Por sua vez, essa pesquisa é classificada como qualitativa.

2.2 Procedimento da pesquisa

A construção da pesquisa foi desenvolvida considerando quatro etapas. A primeira contemplou à busca de artigos em base científica, neste caso o Portal de Periódicos da Capes, e a busca de dissertações e teses a partir da utilização de palavras-chaves. A segunda etapa consistiu na construção do referencial teórico a partir dos artigos lidos.

A etapa seguinte compreende a revisão bibliográfica sistemática sobre o tema “Estudos de Viabilidade Técnico-Econômica em Projetos de Energia Eólica”, com o objetivo de levantar informações sobre o tema, conhecer os métodos utilizados na literatura e as relações entre as variáveis de estudo. Na última etapa foi proposto, a partir das informações levantadas nas etapas anteriores, um modelo conceitual para “Estudos de Viabilidade Técnico-Econômica em Projetos de Energia Eólica”. A figura 04 resume o procedimento de pesquisa.

Figura 04 – Procedimento da pesquisa.



Fonte: Elaboração própria (2017).

Na etapa de busca dos artigos no Portal de Periódicos da CAPES, foi utilizada a ferramenta de busca avançada, considerando apenas a busca de artigos, em qualquer idioma no período entre 01/01/1900 a 30/06/2017. A pesquisa foi realizada no mês de julho de 2017, utilizando as palavras chaves e encontrando os resultados, conforme tabela 01.

Tabela 01 – Palavras-chaves utilizadas na busca de artigos.

#	Palavras-Chaves	Artigos Encontrados
1	<i>“economic feasibility” and “wind power”</i>	81
2	<i>“economic feasibility” and “wind energy”</i>	68

Fonte: Elaboração própria (2017).

A palavra *“economic feasibility”* foi considerada com os operadores “no título” e “é (exato)”. Em relação as palavras *“wind power”* e *“wind energy”*, essas foram consideradas com os operadores “qualquer” e “contém”, disponíveis na busca avançada do Portal de Periódicos da CAPES. De posse dos estudos encontrados, retirando-se os estudos repetidos e os não disponíveis, restaram apenas 39 artigos, sendo eles considerados para a revisão bibliográfica sistemática dessa pesquisa.

Na etapa de elaboração do referencial teórico foi realizada leitura dos artigos na íntegra, considerando os temas sobre energia eólica e os métodos de análise de viabilidade técnico-econômica em projetos de energia eólica. Além dos artigos disponíveis na busca no Portal de Periódicos da CAPES, foi necessário realizar uma busca por artigos extras como forma de complementar o embasamento teórico sobre determinados temas. São eles: LCOE, LCC, Opções Reais, ROI e Prospecção de Parques Eólicos.

Na etapa de revisão bibliográfica sistemática, foram extraídos, dos artigos lidos, os conteúdos necessários para a construção do modelo conceitual. Além disso, os artigos foram classificados quanto: distribuição geográfica; publicações por periódico; elementos de entrada para estudo de viabilidade econômica; elementos de entrada para estudo de viabilidade técnica; métodos de análise de viabilidade econômica; métodos de análise de viabilidade técnica.

Por fim, tem-se a construção do modelo conceitual como proposta para estudos de viabilidade técnico-econômica para projetos de energia eólica. O modelo abrange cinco etapas: avaliação de disponibilidade de recurso eólico; coleta de dados técnicos e econômicos; definição de cenários; análise de viabilidade técnica e econômica. Sendo o projeto viável a partir dos resultados encontrados nas etapas anteriores, ele será implementado.

CAPÍTULO 3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo tratará dos principais conceitos que fundamentam a teoria desta pesquisa. Os principais assuntos abordados são: a energia eólica e seus fundamentos e os métodos de análise de viabilidade técnico-econômica.

3.1 Energia Eólica

Utilização da energia contida nos ventos para conversão em outros tipos de energia é considerada uma prática milenar da humanidade (VASCONCELOS, 2015). Por volta do ano 200 A.C., na Pérsia, tem-se primeiro registro histórico da utilização da energia eólica para bombeamento de água e moagem de grãos através de cata-ventos (CRESESB, 2008). Na Europa, os moinhos surgem em meio ao período das cruzadas, quando os soldados participantes trouxeram essa novidade. Os moinhos eram de eixo horizontal e utilizavam um sistema de engrenagens para transmitir a energia gerada pelo seu giro (SALLES, 2004).

Mesmo apresentando uma baixa eficiência devido suas características técnicas, os cata-ventos primitivos apresentavam importantes vantagens para o desenvolvimento das necessidades básicas da população. A sua utilização permitia substituir, por exemplo, a força matriz humana e animal para o bombeamento de água ou moagem de grãos (CRESESB, 2008).

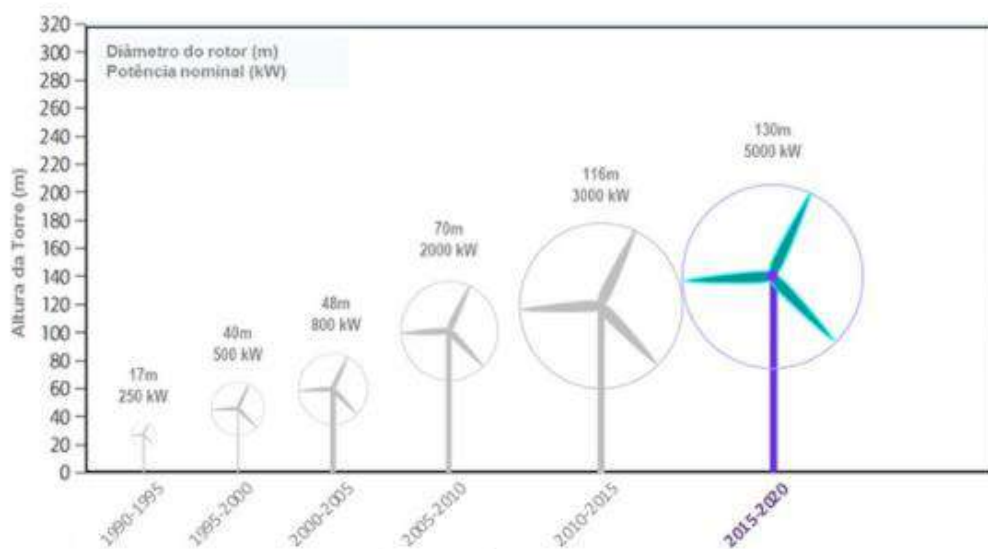
Entretanto, a utilização de instrumentos como forma de aproveitar a energia dos ventos não ficou restrita apenas ao bombeamento de água ou moagem de grãos. O americano Charles Brush (1849-1929) desenvolveu a primeira turbina eólica para geração de energia elétrica em 1888, com potência nominal de 12KW. Ela ficou em operação até o ano 1908 e foi considerada um marco na utilização dos cata-ventos para a geração de energia elétrica (CRESESB, 2008; VASCONCELOS, 2015).

O desenvolvimento tecnológico da energia eólica seguiu em um ritmo progressivo até meados dos anos 1970 (VASCONCELOS, 2015). A crise do petróleo de 1973 levou muitos países a iniciarem programas de investigação e desenvolvimento no âmbito do aproveitamento da energia do vento para a produção de eletricidade. (CASTRO, 2003). Os esforços iniciais para o desenvolvimento dessa tecnologia são resultado da busca dos países desenvolvidos pela redução da dependência de carvão e petróleo, além do seu embasamento sustentável (VASCONCELOS, 2015).

Todo esse contexto, permitiu a energia eólica conquistar progressos em termos do desenvolvimento de sua tecnologia. As experiências positivas com os primeiros projetos desse

tipo de energia fizeram com que o tamanho das turbinas eólicas comerciais não parasse de crescer (CASTRO, 2003; FALANI, 2014). A figura 05 expõe a evolução do tamanho e da potência dos aerogeradores no período de 1990 a 2015, com uma estimativa para o ano 2020.

Figura 05 – Evolução do tamanho e potência dos aerogeradores.



Fonte: Adami (2014)

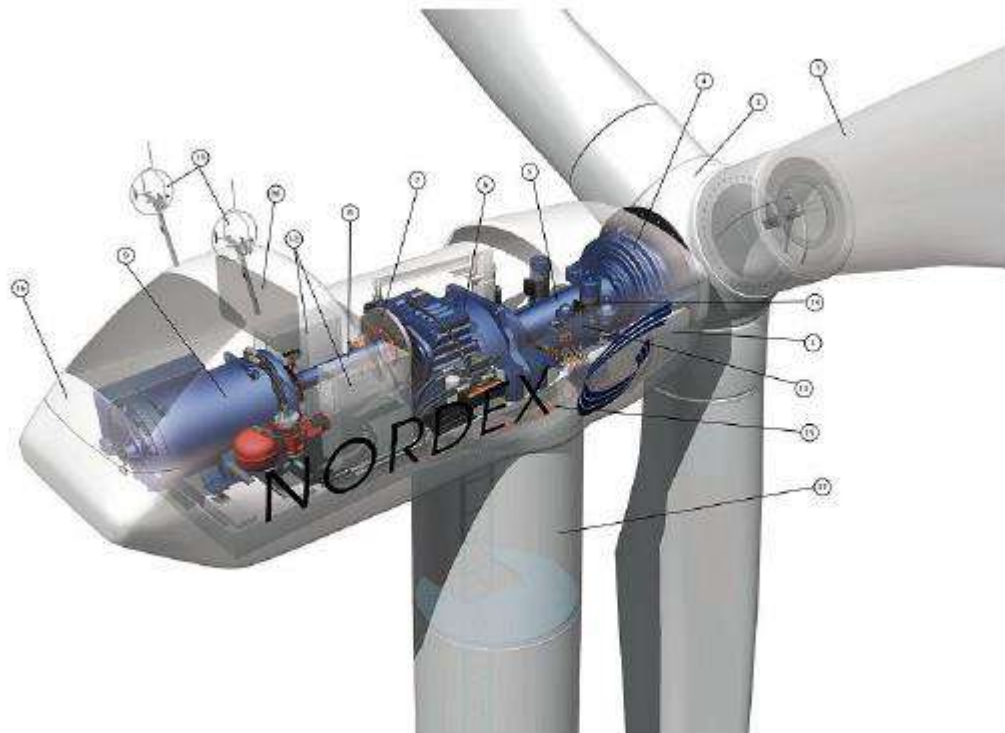
A figura 05 permite observar, quando um único equipamento é tomado como base, que o modelo estimado para 2020 será capaz de gerar 416 vezes mais energia, quando comparado ao modelo de Charles Brush de 1888. O aumento do tamanho das turbinas é vantajoso do ponto de vista econômico e ambiental. As turbinas eólicas com diâmetro de rotor diferentes, possuem diferentes potências nominais. As turbinas com diâmetro maiores são capazes de capturar mais energia eólica em suas maiores áreas (MOHAMMADI; MOSTAFAEIPOUR, 2013).

Quanto maior for a potência unitária, mais energia é produzida e aproveitadas são as infraestruturas elétricas e de construção civil (CASTRO, 2003). No seguinte item (3.2), será descrito os componentes principais de um aerogerador bem como seu princípio de funcionamento.

3.2 Componentes e funcionamento do aerogerador

A turbina eólica é composta por uma série de componentes, responsáveis pela produção da energia elétrica. A sua produção pode ser dividida em três etapas: a captação da energia cinética contida no vento, a conversão da energia cinética em energia mecânica e a transformação da energia mecânica em energia elétrica (LEITE, 2005). A figura 06 apresenta o conjunto de estruturas responsáveis pela geração de energia a partir de um aerogerador.

Figura 06 – Composição de um aerogerador.



Fonte: Castro (2003).

Legenda: 1 – pás do rotor; 2 – cubo do rotor; 3- cabina; 4 – chumaceira do rotor; 5 – veio do rotor; 6 – caixa multiplicadora; 7 – travão de disco; 8 – veio do gerador; 9 – gerador; 10 – radiador de arrefecimento; 11 – anemômetro e sensor de direção; 12 – sistema de controle; 13 – sistema hidráulico; 14 – mecanismo de orientação direcional; 15 – chumaceira do mecanismo de orientação direcional; 16 – cobertura da nacelle; 17 – torre.

Salles (2004) define as principais estruturas de uma turbina eólica, conforme os tópicos abaixo.

- **Torre:** normalmente, apresenta-se de forma tubular, sendo responsável por sustentar a nacelle e o rotor acima do solo para capturar melhor a energia contida nos ventos, onde a rugosidade é menor.

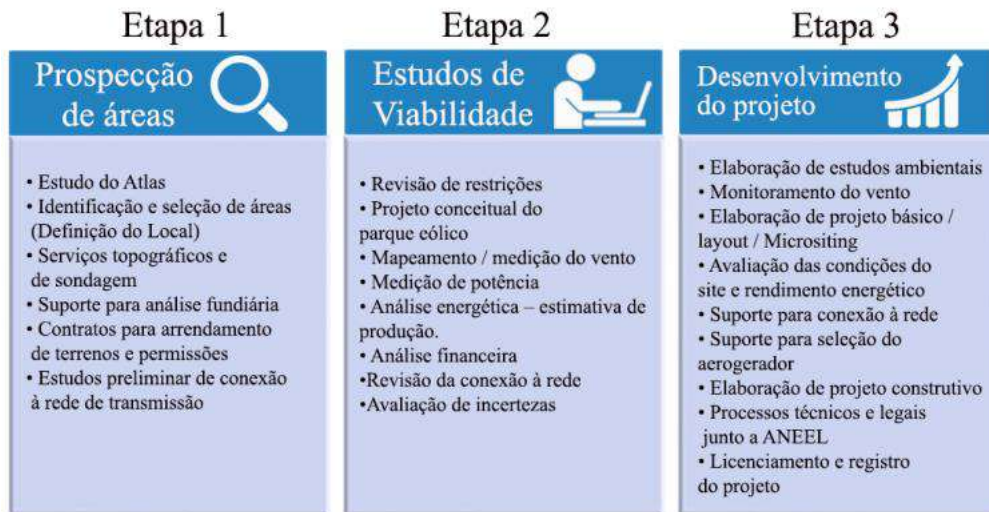
- **Nacele:** neste local estão localizados os principais componentes da turbina: caixa de engrenagens, controlador de freio e o gerador elétrico. Possui a função de proteger os componentes de elementos externos.
- **Pás do rotor:** responsável por captar o vento e converter sua potência ao centro do rotor.
- **Rotor:** sistema de captação de energia cinética dos ventos a qual converte em energia mecânica no seu eixo.
- **Transmissão:** transmite a energia mecânica do eixo do rotor para o gerador.
- **Gerador elétrico:** converte a energia mecânica em elétrica.
- **Mecanismos de controle:** utilizam sensores para o bom funcionamento e a segurança do sistema para melhor aproveitar o vento.
- **Anemômetro:** responsável por medir a intensidade e a velocidade dos ventos.

3.3 Prospecção de Empreendimentos Eólicos

Santiago *et al.* (2016) propõem um modelo para prospecção de parques eólicos no Brasil, dividindo-o em etapas não restritivas entre si. Dentre as etapas, tem-se: avaliação da área de interesse e definição do local; avaliação do potencial eólico; avaliação de impacto e licenciamento ambiental; *micrositing* (definição e disposição dos aerogeradores e estimativa do *output* do projeto; análise de conexão de rede e estudos preliminares de acesso; contrato de arrendamento; avaliação de viabilidade técnico-econômica.

As etapas citadas acima estão relacionadas a macro etapas do processo de prospecção de parques eólicos. Santiago *et al.* (2016) consideram três macros etapas, as quais estão indicadas na figura 07.

Figura 07 – Requisitos para o Desenvolvimento do Empreendimento Eólico.



Fonte: Santiago *et al.* (2016).

Além de agrupar as pequenas etapas do processo de prospecção em três grandes etapas, Santiago *et al.* (2016) as propuseram em forma de fluxo, indicando as etapas de início e de fim. Como apresentado anteriormente, essas etapas não são restritivas entre si e, por isso, podem acontecer de forma paralela, como é exposto na figura 08.

Figura 08 – Procedimento de prospecção para empreendimentos eólicos no Brasil.



Fonte: Santiago *et al.* (2016)

Para atender ao escopo deste trabalho, sobre o assunto “Prospecção de Empreendimentos Eólicos no Brasil” será trabalhado apenas a etapa 2, compreendendo os Estudos de Viabilidade. Para tanto, existem três elementos bastante utilizados no estudo de

viabilidade de parques eólicos: custo de implantação; custo de implantação específico; custo de geração de energia (SANTIAGO *et al.*, 2016).

O custo de implantação envolve somente as despesas de implantação da usina e é medido em unidades monetárias para cada kW de capacidade instalada de geração. O custo de implantação específico acrescenta os dados de potencial eólico, desempenho da turbina e eficiência da usina, informado o quanto se gasta na implantação para se obter um kWh de energia elétrica a cada ano (COPEL, 2007).

A respeito do potencial eólico do local onde deseja-se construir o parque eólico, os dados podem ser coletados de estações meteorológicas, indicando as variações da velocidade de vento a uma determinada altura. Na literatura, observa-se que os dados a respeito da velocidade do vento são melhores representados pela Distribuição de Weibull (ATAEI *et al.*, 2015; BANESHI; HADIANFARD, 2016; CAMPANA; LI; YAN, 2015; CHAUHAN; SAINI, 2015; HAMOUDA, 2012; MOHAMMADI; MOSTAFAEIPOUR; 2016; VYN; VIRANI; DEEN, 2012).

A avaliação de densidade de energia eólica é o melhor método para avaliar o potencial de vento de qualquer local, pois mostra a quantidade de energia acessível no local escolhido para conversão em eletricidade por um sistema de conversão de energia eólica. Para tanto, a estimativa da função de distribuição de probabilidade do vento constitui o passo básico para avaliar o potencial de energia eólica (MOHAMMADI; MOSTAFAEIPOUR; 2016). Um aumento considerável na velocidade do vento pode aumentar consideravelmente a geração de energia (HAMOUDA, 2012), porém até determinada velocidade é considerada adequada.

Por fim, o custo de geração de energia considera os dados anteriormente citados, mais os custos de operação e de manutenção por ano, ao longo dos 20 ou 30 anos (COPEL, 2007). Os custos de operação e manutenção referem-se às finanças que são gastas no sistema para manter uma vida útil mais longa para o equipamento e garantir que ele esteja funcionando (KAZEM *et al.*, 2017).

3.4 Métodos de Análise de Viabilidade Técnico-Econômica

3.4.1 Valor Presente Líquido (VPL)

O Valor Presente Líquido (VPL) é um dos principais métodos presentes em estudos de viabilidade econômica. Lee *et al.* (2016) aborda que o valor resultante no cálculo do VPL é um dos valores mais efetivos para avaliar a rentabilidade de um projeto de longo prazo. Dessa forma, esse método apresenta-se adequado a projetos de energia eólica, visto que eles têm duração de 20 a 25 anos.

O VPL compara o valor do dinheiro hoje e o seu valor futuro (RECALDE, 2010). Esses valores envolvem receitas e custos os quais serão descontados a uma taxa (VYN; VIRANI; DEEN, 2011). Essa taxa de desconto, conhecida também por Taxa Mínima de Atratividade (TMA), representa o custo do capital ou, na maioria das vezes, a taxa de juros que poderia ter sido obtida se o dinheiro fosse investido no melhor investimento alternativo (HAMOUDA, 2012).

O VPL pode ser determinado a partir da fórmula 01 (RECALDE, 2010).

$$VPL = \sum_{n=0}^N \frac{(I-C)n}{(1+r)^n} - I_0 \quad (1)$$

Onde:

- $(I - C)n$ = Fluxo de caixa líquido no período n (entradas – custos).
- I_0 = Investimento inicial
- r = Taxa de desconto
- n = Período

O resultado gerado por esse cálculo indicará se um determinado projeto se apresenta viável ou não. Para que um projeto seja considerado economicamente viável para o investimento, o VPL deve ser positivo à taxa de desconto dada ao longo do horizonte de investimento declarado (LEE *et al.*, 2016; AMANOR-BOADU; PFROMM; NELSON, 2013).

No caso do método VPL assumir valor negativo, esse pode ser denominado de Custo Presente Líquido (CPL), como pode ser encontrado na literatura. Por ser a representação

negativa do VPL, o CPL representa um custo. O seu cálculo, no caso de projetos eólicos, representa o valor presente de todos os custos de capital iniciais, custos de substituição, custos de O&M (Operação e Manutenção), menos os valores atuais de todas as receitas que incluem valores residuais dos componentes do sistema durante toda a vida útil do projeto (DAS *et al.*, 2017).

3.4.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é um indicador econômico que analisa a rentabilidade de um projeto comparando a taxa de desconto (LEE *et al.*, 2016). Ela representa o verdadeiro rendimento de juros proporcionado pelo patrimônio ao longo da sua vida de projeto. É calculada encontrando a taxa de desconto que torna o VPL do projeto igual a zero (SANTOS-ALAMILLOS *et al.*, 2017).

O cálculo da TIR é realizado a partir da fórmula 02 (CASTRO-SANTOS *et al.*, 2016).

$$-G_0 + \sum_{t=1}^n \frac{CFt}{(1+IRR)^t} = 0 \quad (2)$$

Onde:

- CFt = Fluxo de caixa no ano t.
- G_0 = Investimento Inicial
- IRR = TIR
- t = número de anos do projeto

Após o seu cálculo, a TIR deve ser compara com o custo do capital do projeto. Sendo a TIR do projeto maior do que o custo do capital, ele deve ser aceito. Em outros casos, ele deverá ser rejeitado (SANTOS-ALAMILLOS *et al.*, 2017).

3.4.3 Período *Payback*

O período *Payback* mede o período durante o qual os custos de investimento são recuperados das receitas líquidas geradas pelo projeto (MADASSER; YIRIDOE; CORSCADDEN, 2013; LEE *et al.*, 2016). Para esse tipo de comparação, o *Payback* é classificado como *Payback* simples. Em complemento a esse modelo, tem-se o *Payback*

descontado. Nesse caso, além das receitas e custos, considera-se a taxa de retorno do investimento (CAMPANA; LI; YAN, 2015).

3.4.4 Retorno sobre Investimento (ROI)

O Retorno sobre Investimento (ROI), apresenta-se como um indicador de rentabilidade utilizado pelas organizações para avaliar sus investimentos. Os indicadores de rentabilidade ou índices de rentabilidade servem para medir a capacidade econômica da empresa, isto é, evidenciam o grau de êxito econômico obtido pelo capital investido da empresa (VIEIRA, 2011).

O ROI é uma maneira da empresa determinar a relação existente entre o valor aplicado em um investimento e os ganhos financeiros obtidos em ele (RECALDE, 2010; PADUAM; FABRI; L'ERARIO, 2015). Procura evidenciar qual foi a rentabilidade dos capitais investidos e, por isso, preocupa-se com a situação econômica da organização. Analiticamente, quanto maior esse índice, melhor para a organização (VIEIRA, 2011).

Vieira (2011), assume que o Retorno sobre Investimento pode ser calculado conforme a fórmula 03.

$$ROI = \frac{LUCRO OPERACIONAL \text{ (antes do imposto de renda)}}{INVESTIMENTO M\u00c9DIO \text{ (Passivos Onerosos+PL)}} \quad (3)$$

Para Jeffery (2013) é importante salientar que a atuação do ROI pode ser determinada por duas táticas: (i) Estratégia Operacional: política de preços, escala de produção, qualidade operacional, decisões de compra e estocagem (fazer certo as coisas); (ii) Estratégia de investimento: uso mais produtivo do capital, tecnologia e identificação de novos investimentos economicamente atraentes (fazer a coisa certa).

3.4.5 Life Cycle Cost (LCC)

O *Life Cycle Cost*, ou o Custo do Ciclo de Vida, tem por objetivo otimizar os custos totais de um produto através da identificação e quantificação de todos os custos incorridos durante a sua vida útil (REAL, 2010). Os custos referentes ao tempo de vida do projeto envolvem: custos de concepção (custo de estudos de mercado, fatores legais, projeto completo

do parque) e definição, projeto e desenvolvimento, fabricação, instalação, exploração e substituição (CASTRO-SANTOS *et al.*, 2016).

Kazem *et al.* (2017) em complemento a definição de Castro-Santos *et al.* (2016), propõe que o Custo do Ciclo de Vida pode ser calculado conforme a fórmula 04.

$$\text{LCC} = \text{Custo de Capital} + \text{Custo de O\&M} + \text{Custo de Substituição} + \text{Valor Residual} \quad (4)$$

Cada componente do cálculo referente ao LCC é descrito nos tópicos seguintes (KAZEM *et al.*, 2017).

- **Custo de Capital:** considera os custos de aquisição do equipamento, desenvolvimento e instalação do sistema. Esse valor, geralmente, é alto, mas é executado apenas uma vez e no início do projeto.
- **Custos de Operação e Manutenção (O&M):** referem-se às finanças que são gastas no sistema para manter uma vida útil mais longa para o equipamento e garantir que ele esteja funcionando. Esses custos incluem salários para os operadores, inspeção, impostos, seguros. A operação e manutenção é um valor adicionado aos custos de cada referente ao sistema que está sendo utilizado.
- **Custo de Substituição:** trata-se dos valores pagos por reparação ou substituição de qualquer elemento no sistema durante sua vida útil. Os custos de substituição, assim como os de O&M e, quando houver, são somados anualmente.
- **Valor Residual:** representa o patrimônio líquido durante o último ano do ciclo de vida do projeto.

O Custo de Ciclo de Vida pode ser combinado com a utilização do método do Valor Presente Líquido, a partir da utilização da taxa de desconto ou taxa mínima de atratividade, a qual foi analisada no item 3.4.1 deste trabalho.

3.4.6 Opções Reais

A análise de viabilidade engloba uma série de técnicas importantes para avaliação de investimentos. O método das Opções Reais apresenta-se como uma alternativa aos métodos determinísticos para esse tipo de análise. No estudo por Opções Reais, o ativo em análise está sujeito a um mercado globalizado, dinâmico e complexo (SATURNINO *et al.*, 2012). Por incorporar essa flexibilidade do mercado, esse método permite e possibilita aos tomadores de decisão, de acordo com o desenvolvimento do mercado, tomar decisões de adiar, esperar ou abandonar o projeto, exigindo um prêmio sobre o Valor Presente Líquido (JACINTO, 2011).

Limitar a análise de viabilidade de um projeto apenas aos métodos tradicionais de fluxo de caixa descontado pode desconsiderar fatores importantes para uma tomada de decisão eficaz. Outros fatores, além da taxa de juros, influenciam na rentabilidade do mesmo, tais como inflação, valorização imobiliária (em caso de envolver algum imóvel), previsões de reajustes de receita e despesas, dentre outros fatores (SATURNINO *et al.*, 2012).

As virtudes das Opções reais, face a ambientes de incerteza, valoriza os projetos avaliados através do Valor Presente Líquido (JACINTO, 2011). O VPL é necessário, na avaliação de projetos de investimento, estando na base do cálculo das Opções Reais, cujo prêmio valoriza o projeto no seu conjunto, através do efeito estratégico proporcionado pela flexibilidade, devido à incerteza do ambiente (TRIGEORGIS, 1996).

Assim sendo, a precificação de uma Opção Real é útil no cálculo do VPL expandido, decorrente da flexibilidade de gerenciar os riscos, e é calculado a partir da soma do VPL tradicional com o preço da Opção, significando o VPL que o projeto pode ter ao considerar o gerenciamento de riscos. O VPL expandido pode ser calculado a partir da fórmula 05 (SATURNINO *et al.*, 2012).

$$VPL_{EXPANDIDO} = VPL_{TRADICIONAL} + VALOR_{FLEXIBILIDADE\ GERENCIAL} \quad (5)$$

O termo "**VALOR_{FLEXIBILIDADE GERENCIAL}**" é também chamado de volatilidade do projeto e pode ser determinado através da Simulação de Monte Carlo. Esse método utiliza as variáveis de interesse de um estudo para uma modelagem estocástica. A partir das suas distribuições empíricas de probabilidade, são sorteados valores para cada uma dessas variáveis (SALLES, 2004).

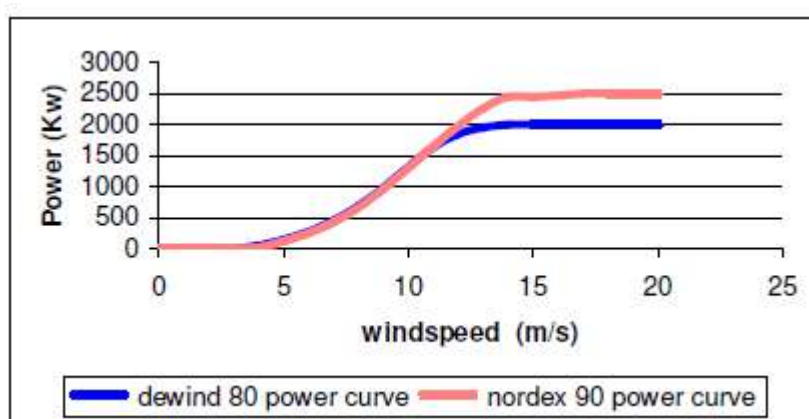
No método da Opções Reais, a Simulação de Monte Carlo apresenta uma utilidade inestimável, pois analisa a amplitude do risco de investimento em determinado projeto. Além disso, o método permite mensurar a probabilidade de sucesso de um investimento, ao medir a probabilidade relativa dos valores de resultados serem iguais ou superiores a zero (SATURNINO *et al.*, 2012).

3.5 Métodos de Análise de Viabilidade Técnica

3.5.1 Curva de Potência do Aerogerador

Para verificação da potência de saída de uma turbina em função da velocidade do vento, recorre-se à curva de potência (LEITE, 2005). A curva de potência de uma turbina eólica tem como objetivo definir a potência gerada para cada velocidade de vento a que o aerogerador é submetido, permitindo, através de dados de vento tratados estatisticamente, prever o desempenho deste equipamento em outros locais em que possa ser instalado (ACUNHA; ALMEIDA, 2006). Graficamente, ele é representado conforme a figura 09.

Figura 09 – Curva de Potência de um Aerogerador.



Fonte: Acunha e Almeida (2006).

Na figura 09, estão sendo comparados dois diferentes aerogeradores, o Dewind 80 e o Nordex 90, sendo esse último o que apresenta um melhor aproveitamento da velocidade do vento (a partir de 15 m/s). A montagem destas curvas é feita através de medidas de

anemômetros, colocados o mais próximo possível da turbina. As medidas de velocidade de vento coletadas pelo anemômetro são plotadas em um gráfico, formando assim a curva de potência (LEITE, 2005).

3.5.2 Distribuição de Weibull

Os valores registrados sobre velocidade do vento ganham importância se puderem ser descritos por expressões analíticas. Várias distribuições probabilísticas têm sido sugeridas para descrever o regime dos ventos, porém, a Distribuição de Weibull é considerada como a mais adequada (CASTRO, 2003). A função densidade de probabilidade de Weibull é definida conforme fórmula 06 (LEITE, 2005).

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (6)$$

Analisando a fórmula 06, " v " representa a velocidade a qual se deseja calcular a probabilidade, " c " e " k " são parâmetros de escala e de forma, respectivamente. Quanto maior o valor do parâmetro " k ", menor a variação da velocidade do vento. Sobre o parâmetro " c ", quanto maior seu valor, maior será a velocidade média do vento. Existem várias formas para definição dos parâmetros " k " e " c ", o quais podem ser vistos nas fórmulas 07 e 08 (LEITE, 2005).

$$k = \left(\frac{\sigma}{v}\right)^{-1,086} \quad (7)$$

$$c = \frac{\bar{v}}{f\left(1+\left(\frac{1}{k}\right)\right)} \quad (8)$$

Onde f é uma função definida por:

$$f(a) = \int_0^{\infty} e^{-x} x^{a-1} dx \quad (9)$$

Dessa forma, a distribuição de Weibull reduz-se a distribuição uni-paramétrica de *Rayleigh*. Esse tipo de distribuição é aplicada na fase em que não se dispõem de dados experimentais e se pretende caracterizar sumariamente um local, unicamente a partir da velocidade média anual (CASTRO, 2003; LEITE, 2005).

A estimativa de geração de energia para um determinado sítio é definida a partir das características do regime local do vento. Para tanto, são utilizadas informações provenientes

da curva de distribuição de Weibull e a curva de potência da turbina eólica. Neste caso, para cada valor de velocidade possível de ocorrer, o número de horas em que o vento permanece nesta velocidade é multiplicado pela potência gerada pela turbina, obtida através da curva de potência. Os valores são, então, somados para encontrar a energia anual produzida (LEITE, 2005).

3.5.3 Custo Nivelado de Energia (LCOE)

Referindo-se a análise de viabilidade econômico financeira de empreendimento energéticos, uma figura de mérito considerada é o custo nivelado de energia, ou LCOE (*Levelized Cost of Electricity*). O LCOE relaciona os custos envolvidos e a energia gerada pelo empreendimento ao longo da sua vida útil, representando o quanto um produtor de energia deveria obter de receita por kWh, de modo que seja suficiente cobrir as despesas operacionais, os investimentos, os juros e remunerar os investidores (NAKABAYASHI, 2014).

Para Castro (2014), o LCOE representa o custo equivalente de cada unidade de eletricidade gerada ao longo da vida útil do projeto, levando em conta o investimento inicial (CAPEX), custos de manutenção e operação (OPEX) e demais custos associados a juros sobre quaisquer empréstimos. Ainda conforme o mesmo autor, o IEA propõe um modelo para cálculo do LCOE apresentado na fórmula 10.

$$LCOE = \frac{Inv.FCR+O\&M}{Eel} \quad (10)$$

Onde:

- LCOE: custo normalizado de energia;
- Inv: custo de investimento;
- FCR: despesa fixa sobre juros e financiamentos;
- O&M: custo anual de operação, manutenção e seguros;
- Eel: rendimento anual da eletricidade.

CAPÍTULO 4 - ESTADO DO ARTE

O presente capítulo expõe o estado da arte a respeito do assunto estudado na etapa de revisão bibliográfica sistemática. Para tanto os artigos serão classificados seguindo critérios que serão detalhados nos tópicos seguintes.

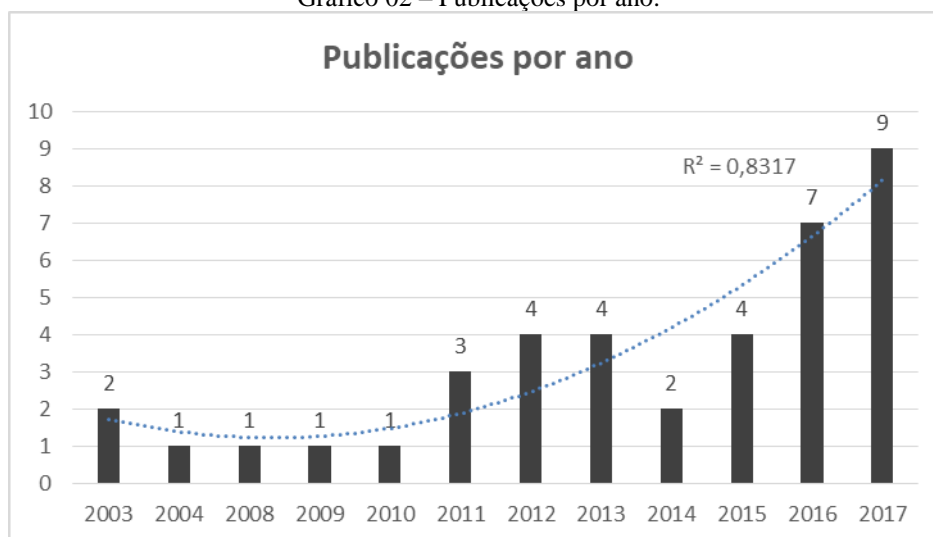
4.1 Classificação dos artigos

Para possuir uma visão mais ampla sobre os estudos analisados para a construção desta pesquisa, os artigos lidos durante a revisão bibliográfica sistemática foram classificados quanto: publicações por ano; distribuição geográfica; publicações por periódico; métodos de análise econômica por autor; métodos de análise técnica por autor; *inputs* para análise econômica por autor; *inputs* para análise técnica por autor.

4.1.1 Publicações por ano

A partir da análise dos artigos considerados para o desenvolvimento desta pesquisa, tem-se que o primeiro sobre o tema aparece no ano 2003 com duas publicações. Entre os anos 2004 e 2010, apresenta-se uma queda no número de publicações com apenas uma por ano e os anos 2005, 2006 e 2007 não apresentaram nenhuma publicação. O ano 2011 apresenta uma recuperação com três publicações, seguido pelos anos 2012 e 2013 com quatro publicações. O gráfico 02 apresenta o comportamento das publicações ao longo do tempo.

Gráfico 02 – Publicações por ano.



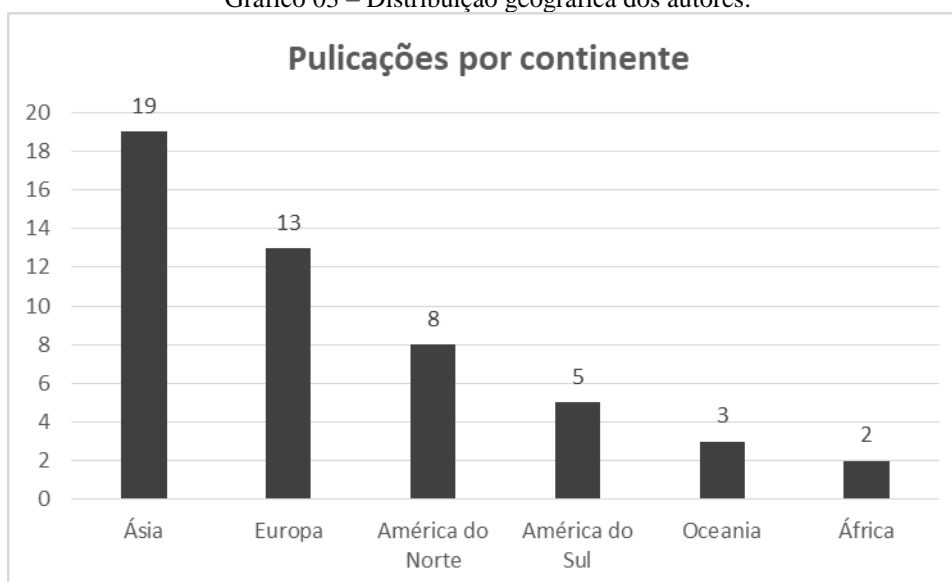
Fonte: Elaboração própria (2017).

A análise do gráfico 02 permite perceber um aumento no número de publicações nos anos 2016 (sete publicações) e 2017 (nove publicações), sendo esse o ano com maior número de publicações. A melhor curva que representa o comportamento das publicações ao longo do tempo é a de ajuste polinomial.

4.1.2 Distribuição geográfica

O presente tópico, tem por objetivo apresentar como os artigos, analisados na fase de revisão bibliográfica sistemática, estão distribuídos geograficamente, considerando os países das instituições dos autores de cada estudo. O gráfico 03, mostra o número de publicações por continente. É importante salientar que um único artigo pode ser representado por autores de mais de um continente.

Gráfico 03 – Distribuição geográfica dos autores.



Fonte: Elaboração própria (2017).

A observação do gráfico 03 aponta o continente Asiático como aquele com maior representatividade em números de pesquisas, contando com 19 publicações. Em seguida, tem-se o continente Europeu, com 13 publicações, e a América do Norte, com 8 publicações. A tabela 02 apresenta a distribuição desses estudos de acordo com os países pertencentes a cada continente.

Tabela 02 – Distribuição geográfica dos autores.

Continente	Quantidade	País	Quantidade
América do Norte	8 (16%)	Canadá	2 (4%)
		Estados Unidos	6 (12%)
América do Sul	5 (10%)	Brasil	2 (4%)
		Argentina	2 (4%)
		Chile	1 (2%)
África	2 (4%)	África do Sul	1 (2%)
		Egito	1 (2%)
Ásia	19 (38%)	Arábia Saudita	1 (2%)
		Bangladesh	1 (2%)
		China	3 (6%)
		Coréia do Sul	1 (2%)
		India	2 (4%)
		Iran	5 (10%)
		Iraque	1 (2%)
		Japão	1 (2%)
		Malásia	1 (2%)
		Omam	1 (2%)
		Paquistão	1 (2%)
		República da Coréia	1 (2%)
		Europa	13 (26%)
Dinamarca	1 (2%)		
Espanha	3 (6%)		
Holanda	2 (4%)		
Inglaterra	2 (4%)		
Itália	2 (4%)		
Noruega	1 (2%)		
Suécia	1 (2%)		
Oceania	3 (6%)	Austrália	3 (6%)

Fonte: Elaboração própria (2017).

Apesar do continente Asiático aparecer possuindo o maior número de publicações, o país de maior destaque é o Estados Unidos com 6 publicações. Em seguida, encontra-se o

Iran, pertencente ao continente asiático, com 5 publicações. O Brasil aparece apenas com 2 publicações.

4.1.3 Publicações por periódico

Quanto ao número de periódicos encontrados, tem-se que os estudos estão distribuídos em 15 diferentes revistas científicas. Desses, apenas seis apresentaram mais de um estudo publicado sobre o tema durante os anos considerados. A distribuição da quantidade de estudos por periódico pode ser vista na tabela 03.

Tabela 03 – Publicações por periódico.

Periódico	Quantidade
<i>Renewable Energy</i>	8 (21%)
<i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>	7 (18%)
<i>Energy Policy</i>	5 (13%)
<i>International Journal of Hydrogen Energy</i>	3 (8%)
<i>Energy</i>	3 (8%)
<i>Energy Conversion and Management</i>	3 (8%)
<i>Journal of Cleaner Production</i>	1 (3%)
<i>Applied Energy</i>	1 (3%)
<i>Environmental Progress & Sustainable Energy</i>	1 (3%)
<i>Energies</i>	1 (3%)
<i>Process</i>	1 (3%)
<i>International Journal of Sustainable Energy</i>	1 (3%)
<i>Case Studies in Thermal Engineering 10</i>	1 (3%)
<i>Biomass and Bioenergy</i>	1 (3%)
<i>Futures</i>	1 (3%)

Fonte: Elaboração própria (2017).

Os periódicos que se destacaram por possuírem mais publicações foram: *Renewable Energy* (oito artigos); *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (sete artigos); *Energy Policy* (cinco artigos); *International Journal of Hydrogen Energy* (três artigos); *Energy* (três artigos); *Energy Conversion and Management* (três artigos). Juntos, esses seis periódicos são responsáveis por 76% das publicações sobre a temática.

4.1.4 Elementos de entrada para estudo de viabilidade econômica

A utilização dos métodos de viabilidade econômica é precedida pela coleta dos dados necessários para esse tipo de estudo. Os dados em questão serão nomeados de elementos de entrada. A partir dos estudos considerados na etapa de revisão bibliográfica sistemática, tem-se, no quadro 02, os elementos utilizados e os autores que os consideraram em seus artigos.

Quadro 02 – Elementos de entrada para estudo de viabilidade econômica.

(continua)

Elementos de Entrada	Autor(es)
Custo de Capital	Stockton (2003); Teetz, Harms e von Backström (2003); Schmid e Hoffmann (2004); Fthenakis, Mason e Zweibel (2008); Recalde (2010); Hamouda (2012); Shaahi, Al-Hadrami e Rahman (2012); Li <i>et al.</i> (2013); Mohammadi e Mostafaeipour (2013); Mudasser, Yiridoe e Corscadden (2013); Maier e Oliveira (2014); Ataei <i>et al.</i> (2015); Campana, Li e Yan (2015); Anastasopoulou <i>et al.</i> (2016); Baneshi e Hadianfard (2016); Chauhan e Saini (2016); Lee <i>et al.</i> (2016); Mamaghani <i>et al.</i> (2016); Das <i>et al.</i> (2017); Khan, Yadav e Mathew (2017); Park (2017); Ramírez-Sagner <i>et al.</i> (2017); Shahzad <i>et al.</i> (2017).
Custo de O&M	Stockton (2003); Fthenakis, Mason e Zweibel (2008); Hessami e Bowly (2011); Hamouda (2012); Amanor-Boadu, Pfromm e Nelson (2013); Askari <i>et al.</i> (2013); Li <i>et al.</i> (2013); Mohammadi e Mostafaeipour (2013); Maier e Oliveira (2014); Anastasopoulou <i>et al.</i> (2016); Baneshi e Hadianfard (2016); Chauhan e Saini (2016); Lee <i>et al.</i> (2016); Mamaghani <i>et al.</i> (2016); Das <i>et al.</i> (2017); Park (2017); Ramírez-Sagner <i>et al.</i> (2017); Shahzad <i>et al.</i> (2017).
Taxa de Desconto	Mudasser, Yiridoe e Corscadden (2013); Recalde (2010); Mamaghani <i>et al.</i> (2016); Hamouda (2012); Ramírez-Sagner <i>et al.</i> (2017).

Quadro 02 – Elementos de entrada para estudo de viabilidade econômica.

(conclusão)

Elementos de Entrada	Autor(es)
Custo de Substituição	Askari <i>et al.</i> (2013); Chauhan e Saini (2016); Park (2017); Shahzad <i>et al.</i> (2017).
Custo de conexão com a rede	Mudasser, Yiridoe e Corscadden (2013).
Variação cambial	Mamaghani <i>et al.</i> (2016).
Demanda de energia	Teetz, Harms e von Backström (2003).
Tarifa elétrica	Castro-Santos <i>et al.</i> (2016)

Fonte: Elaboração própria (2017).

Diante das informações fornecidas pelo quadro 02, tem-se que os elementos de entrada mais presentes nos estudos são o Custo de Capital, representando o investimento inicial do projeto, e os Custos de O&M, com os custos de operação e manutenção. O primeiro termo apareceu sendo citado em 23 artigos e o segundo em 18. É importante ressaltar que os elementos podem ter sido citados em um mesmo estudo.

4.1.5 Elementos de entrada para estudo de viabilidade técnica

Assim como abordado no tópico anterior sobre o estudo de viabilidade econômica, o estudo de viabilidade técnica também necessita de elementos de entrada para a correta interpretação dos métodos utilizados. Nos estudos da revisão bibliográfica sistemática, os elementos citados foram: velocidade do vento; curva de potência do aerogerador; altura do *hub*; densidade do vento; perfil de velocidade do vento. No quadro 03 é possível observar a distribuição desses estudos.

Quadro 03 – Elementos de entrada para estudo de viabilidade técnica.

Elementos de Entrada	Autor(es)
Velocidade do Vento	Teetz, Harms e von Backström (2003); Recalde (2010); Hamouda (2012); Shaahid, Al-Hadhrami e Rahman (2012); Askari <i>et al.</i> (2013); Mudasser, Yiridoe e Corscadden (2013); Mohammadi e Mostafaeipour (2013); Ataei <i>et al.</i> (2015); Campana, Li e Yan (2015); Anastasopoulou <i>et al.</i> (2016); Baneshi e Hadianfard (2016); Chauhan e Saini (2016); Mamaghani <i>et al.</i> (2016); Das <i>et al.</i> (2017); Park (2017).
Curva de Potência do Aerogerador	Hamouda (2012); Mudasser, Yiridoe e Corscadden (2013); Maier e Oliveira (2014); Anastasopoulou <i>et al.</i> (2016); Khan, Yadav e Mathew (2017); Park (2017); Qolipour, Mostafaeipour e Tousi (2017).
Altura do Hub	Hamouda (2012); Mudasser, Yiridoe e Corscadden (2013); Anastasopoulou <i>et al.</i> (2016); Khan, Yadav e Mathew (2017); Qolipour, Mostafaeipour e Tousi (2017).
Densidade do Vento	Recalde (2010); Mohammadi e Mostafaeipour (2013); Baneshi e Hadianfard (2016); Chauhan e Saini (2016).
Perfil de Velocidade do Vento	Teetz, Harms e von Backström (2003); Shaahi, Al-Hadrami e Rahman (2012).

Fonte: Elaboração própria (2017).

A velocidade do vento pode ser considerada o elemento mais relevante de entrada para o estudo de viabilidade técnica, sendo citada em 16 estudos. Esse elemento aparece, em grande parte dos casos, combinada com a Distribuição de Weibull. Elementos como curva de potência do aerogerador e altura do *hub* assumem a segunda e terceira posição com 7 e 5 citações, respectivamente.

4.1.6 Métodos de análise de viabilidade econômica

A partir dos elementos de entrada para o estudo de viabilidade econômica, como exposto no item 4.1.4, é possível fazer uso de métodos para determinar se um projeto deve ser aceito ou não, considerando suas particularidades. Para tanto, a revisão bibliográfica sistemática, bem como a inclusão de outros artigos ao estudo, permitiu dividir os métodos de viabilidade econômica em oito tipos diferentes. Eles e seus respectivos autores são apresentados no quadro 04.

Quadro 04 – Métodos de viabilidade econômica.

(continua)

Método de Viabilidade Econômica	Autor(es)
Valor Presente Líquido (VPL)	Teetz, Harms e von Backström (2003); Fthenakis, Mason e Zweibel (2008); Recalde (2010); Gebrezgabher, Meuwissen e Lansink (2011); Hamouda (2012); Vyn, Virani e Deen (2012); Amanor-Boadu, Pfromm e Nelson (2013); Mohammadi e Mostafaeipour (2013); Mudasser, Yiridoe e Corcadden (2013); Ataei <i>et al.</i> (2015); Baneshi e Hadianfard (2016); Castro-Santos <i>et al.</i> (2016); Lee <i>et al.</i> (2016); Das <i>et al.</i> (2017); Ramírez-Sagner <i>et al.</i> (2017); Santos-Alamillos (2017).
Taxa Interna de Retorno (TIR)	Mudasser, Yiridoe e Corcadden (2013); Recalde (2010); Hamouda (2012); Teetz, Harms e von Backström (2003); Castro-Santos <i>et al.</i> (2016); Mohammadi e Mostafaeipour (2013); Hessami e Bowly (2011); Maier e Oliveira (2014); Lee <i>et al.</i> (2016); Amanor-Boadu, Pfromm e Nelson (2013); Ramírez-Sagner <i>et al.</i> (2017); Gebrezgabher, Meuwissen e Lansink (2011).

Quadro 04 – Métodos de viabilidade econômica.

(conclusão)

Método de Viabilidade Econômica	Autor(es)
Custo Presente Líquido (CPL)	Li <i>et al.</i> (2013); Ataei <i>et al.</i> (2015); Anastasopoulou <i>et al.</i> (2016); Chauhan e Saini (2016); Mamaghani <i>et al.</i> (2016); Das <i>et al.</i> (2017); Park (2017); Ramírez-Sagner <i>et al.</i> (2017); Park <i>et al.</i> (2017).
Payback	Teetz, Harms e von Backström (2003); Mudasser, Yiridoe e Corscadden (2013); Campana, Li e Yan (2015); Baneshi e Hadianfard (2016); Castro-Santos <i>et al.</i> (2016); Lee <i>et al.</i> (2016); Das <i>et al.</i> (2017); Kazem <i>et al.</i> (2017).
Life Cycle Cost (LCC)	Shaahi, Al-Hadrami e Rahman (2012); Vyn, Virani e Deen (2012); Castro-Santos <i>et al.</i> (2016); Kazem <i>et al.</i> (2017).
Retorno sobre Investimento	Recalde (2010); Lee <i>et al.</i> (2016); Shahzad <i>et al.</i> (2017).
Opções Reais	Trigeorgis (1996); Jacinto (2011); Saturnino <i>et al.</i> (2012).
Análise de Cenários	Fthenakis, Mason e Zweibel (2008).

Fonte: Elaboração própria (2017).

O método mais citado durante os artigos foi o Valor Presente Líquido (VPL), sendo citado 16 vezes. Em seguida, aparecem os métodos da Taxa Interna de Retorno (TIR), com 12 citações, e o Custo Presente Líquido, com 9 citações. É importante ressaltar que métodos como *Life Cycle Cost* e Opções Reais utilizam o método do VPL como elemento de análise.

4.1.7 Métodos de análise de viabilidade técnica

Os elementos de entrada para o estudo de viabilidade técnica, conforme item 4.1.5, permitem estimar elementos complementares a análise de viabilidade econômica, agregando

mais robustez ao estudo. Os métodos considerados nos artigos da etapa de revisão bibliográfica sistemática estão dispostos no quadro 05.

Quadro 05 – Métodos de viabilidade técnica.

Método de Viabilidade Técnica	Autor(es)
<i>Levelized Cost of Energy (LCOE)</i>	Fthenakis, Mason e Zweibel (2008); Shaahi, Al-Hadrami e Rahman (2012); Askari <i>et al.</i> (2013); Li <i>et al.</i> (2013); Mohammadi e Mostafaeipour (2013); Castro-Santos <i>et al.</i> (2016); Chauhan e Saini (2016); Mamaghani <i>et al.</i> (2016); Das <i>et al.</i> (2017); Khan, Yadav e Mathew (2017); Ramírez-Sagner <i>et al.</i> (2017); Santos-Alamillos (2017).
Fator de Capacidade	Schmid e Hoffmann (2004); Shaahi, Al-Hadrami e Rahman (2012); Mudasser, Yiridoe e Corscadden (2013); Maier e Oliveira (2014); Anastasopoulou <i>et al.</i> (2016); Chauhan e Saini (2016); Qolipour, Mostafaeipour e Tousi (2017).
Distribuição de Weibull	Hamouda (2012); Mohammadi e Mostafaeipour (2013); Ataei <i>et al.</i> (2015); Campana, Li e Yan (2015); Baneshi e Hadianfard (2016); Chauhan e Saini (2016).
Produção de energia/ano	Teetz, Harms e von Backström (2003); Hamouda (2012); Mohammadi e Mostafaeipour (2013); Castro-Santos <i>et al.</i> (2016); Mamaghani <i>et al.</i> (2016).

Fonte: Elaboração própria (2017).

Dentre os métodos de viabilidade técnica para projetos de energia eólica, tem-se que o mais observado nos estudos é o “*Levelized Cost of Energy (LCOE)*” ou “Custo Nivelado de Energia”, utilizado em doze estudos. Em seguida, tem-se o fator de capacidade, o qual apareceu em sete estudos. A Distribuição de Weibull aparece em terceiro lugar dentre os mais

citados. Esse método é utilizado como forma de estimação da velocidade do vento em alturas não atendidas pelos anemômetros. Dessa forma, essa distribuição permite determinar qual a melhor altura para o posicionamento do *hub*.

CAPÍTULO 5 - RESULTADOS

O presente capítulo aborda a construção do modelo conceitual construído a partir da revisão bibliográfica sistemática e a explicação de cada uma das suas dimensões.

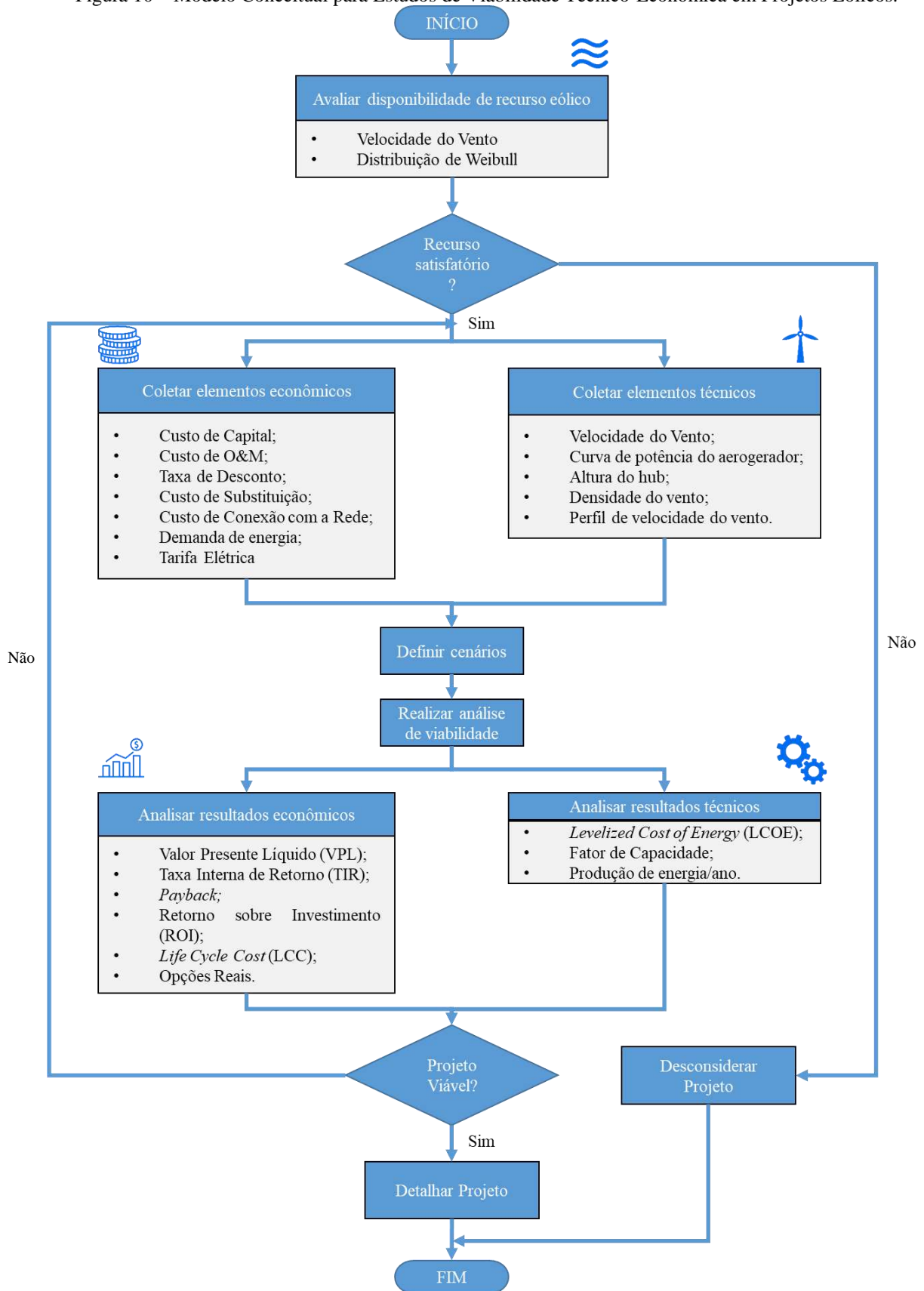
5.1 Modelo Conceitual

As informações contidas nos artigos lidos durante a etapa de revisão bibliográfica sistemática permitem dividir o Estudo de Viabilidade Técnico-Econômica para Projetos de Energia Eólica em cinco fases. São elas:

- **Fase 1** - Avaliação da disponibilidade de recurso eólico;
- **Fase 2** - Coleta dos elementos econômicos e técnicos;
- **Fase 3** - Definição de Cenários;
- **Fase 4** - Análise dos métodos de viabilidade técnico-econômicos;
- **Fase 5** - Detalhamento do projeto.

Essas fases podem ser melhor compreendidas a partir do *framework* do modelo conceitual, apresentado na figura 10, e na explicação de cada uma delas nos tópicos que seguem este capítulo.

Figura 10 – Modelo Conceitual para Estudos de Viabilidade Técnico-Econômica em Projetos Eólicos.



Fonte: Elaboração própria (2017).

5.1.1 Avaliação da Disponibilidade de Recurso Eólico

A primeira fase considerada para o estudo de viabilidade técnica-econômica de projetos de energia eólica, consiste em avaliar o potencial eólico onde se deseja implantar o empreendimento. Avaliar o potencial eólico compreende em conhecer o comportamento dos ventos a respeito da sua intensidade, frequência e direção.

Santiago *et al.* (2016), destacam alguns fatores, como o relevo e a rugosidade do solo, como capazes de influenciar no regime dos ventos em uma determinada localidade. O mesmo autor afirma que o levantamento dos dados, sobre intensidade e direção do vento, deve ser realizado no local de implantação da central geradora eólica, com anemômetro calibrado, por no mínimo um ano completo e ininterrupto.

O dado sobre o comportamento do vento em um determinado local é, normalmente, medido a uma altura fixa, menores do que os aerogeradores costumam serem posicionados. Para ter conhecimento sobre o comportamento do vento em alturas onde, de fato, o *hub* da turbina eólica estará localizado, os dados relativos as velocidades do vento são analisados seguindo uma distribuição estatística. De acordo com os estudos analisados, a velocidade do vento é melhor descrita pela Distribuição de Weibull (ATAEI *et al.*, 2015; BANESHI; HADIANFARD, 2016; CAMPANA; LI; YAN, 2015; CHAUHAN; SAINI, 2015; HAMOUDA, 2012; MOHAMMADI; MOSTAFAEIPOUR; 2016; VYN; VIRANI; DEEN, 2012).

A Distribuição de Weibull gera uma função, permitindo conhecer a velocidade do vento para diferentes alturas a serem determinadas pelo analista do projeto. As diferentes alturas a serem analisadas, seguem as alturas do *hub*, como é denominado nos estudos, visto que, nessa fase do projeto, já se possui um conhecimento prévio dos equipamentos mais indicados para uma determinada localidade (HAMOUDA, 2012; MUDASSER; YITIDOE; CORSCADDEN, 2013; ANASTASOPOULOU *et al.*, 2016; KHAN; YADAV; MATHEW; QOLIPOUR; MOSTAFAEIPOUR; TOUSI, 2017). Esse estudo permitirá conhecer se o recurso eólico disponível é satisfatório e, quando confirmado, o estudo prosseguir para a seguinte fase.

5.1.2 Coleta dos elementos econômicos e técnicos

A segunda fase da Estudo de Viabilidade Técnico-Econômica, consiste na coleta dos elementos para a formação do fluxo de caixa do projeto. Sobre os elementos a serem coletados, tem-se os itens citados, conforme o item 4.1.4, resumidos no quadro 06.

Quadro 06 – Elementos de entrada econômicos e técnicos.

Elementos Econômicos	Elementos Técnicos
Custo de Capital Custo de O&M Taxa de Desconto Custo de Substituição Custo de Conexão com a Rede Demanda de Energia Tarifa elétrica	Velocidade do Vento Curva de Potência do Aerogerador Altura do <i>Hub</i> Densidade do Vento Perfil de Velocidade do Vento

Fonte: Elaboração própria (2017).

- **Custo de Capital:** refere-se ao investimento inicial do projeto, contemplando os custos de aquisição do equipamento, desenvolvimento e instalação do sistema (SANTOS, 2016; KAZEM *et al.*, 2017). Esse valor, geralmente, é o maior encontrado no fluxo de caixa, ocorrendo apenas uma vez no ciclo de vida do projeto.
- **Custo de O&M:** trata-se de todos os custos responsáveis por manter o parque em operação, bem como manter os equipamentos (SANTOS, 2016). Portanto, estão incluídos nessa classe de custos o salário dos operadores, custos de manutenção, os impostos pagos, seguros, licenças, custos de inspeção.
- **Taxa de Desconto:** essa taxa representa o custo de capital para o dono do projeto. Esse elemento é indispensável no desconto dos fluxos de caixa de modo a obter o Valor Presente Líquido do projeto.
- **Custo de Substituição:** envolve os custos de substituição de equipamentos ou sua reparação durante o tempo de vida do projeto.

- **Custo de conexão com a rede:** refere-se aos custos de conexão do sistema eólico com a rede de distribuição de energia. Deve-se considerar as perdas de energia existentes durante o seu transporte pelas redes até os usuários finais.
- **Demanda de Energia e Tarifa Elétrica:** o estudo de demanda permitirá conhecer o quanto de energia o sistema implantado deverá gerar. Essa informação terá influência sobre o Custo de Capital e o Custo de O&M do projeto, visto que quanto mais turbinas eólicas forem necessárias, maior será o Custo de Capital e maior será os custos para operar e manter o sistema. Esses custos são confortados com a tarifa elétrica (considerada como uma receita no fluxo de caixa), permitindo estimar se o sistema será viável ao longo do tempo.
- **Velocidade do Vento; Densidade do Vento e Perfil de Velocidade do Vento:** durante a etapa de coleta de informações sobre o vento, não é importante saber apenas sobre a sua velocidade. É preciso, também, conhecer sobre o quanto de energia aquele vento carrega consigo, sendo capaz de mover as pás do aerogerador (densidade do vento) e qual a sua variação ao longo de um dia (perfil de velocidade do vento).
- **Curva de Potência do Aerogerador e Altura do *Hub*:** são informações coletadas do fabricante das turbinas eólicas, como forma de estimar a quantidade de energia a ser gerada pelas máquinas, de acordo com a altura de cada *hub* e velocidade do vento disponível.

5.1.3 Definição de Cenários

O estudo de viabilidade técnico-econômica para projetos de energia eólica, levam em consideração também como as turbinas eólicas de diferentes fabricantes se comportarão, em termos de produção de energia, com o recurso eólico disponível no local. Assim sendo, cada um dos elementos como custo de capital, custo de O&M, custo de substituição, custo de conexão com a rede, curva de potência do aerogerador e altura do *hub*, precisam ser mensurados de acordo com cada equipamento.

Entretanto, a definição de cenários não se resume apenas em analisar como será o comportamento de cada equipamento dado o potencial eólico do local, como mostrado nos estudos considerados na etapa de revisão bibliográfica sistemática. Outros fatores como a possibilidade de presença de sítios arqueológicos, variação cambial, influência os *stakeholders* e a obtenção de licenças e certificações para construção e operação desses empreendimentos devem ser considerados na definição de cenários, pois interferem na continuidade do projeto.

A presença de sítios arqueológicos em determinado local pode causar atrasos ou mesmo impedir a construção de empreendimentos eólicos. Tratando-se do Brasil, existem leis voltadas à proteção do patrimônio arqueológico, disposto na Resolução CONAMA 001/86 e nas portarias SPHAN 07/88 e IPHAN 230/2002, que definem o escopo dos estudos arqueológicos a serem desenvolvidos nas diferentes fases do licenciamento ambiental (BEZERRA, 2015).

No tocante à variação cambial, deve-se considerar que muitos países importam esse tipo de tecnologia para que possam implementar seus parques eólicos. Por esse motivo, seus projetos estão sujeitos as flutuações sofridas pelo mercado, fato que influencia na variação cambial. Portanto, ter conhecimento sobre como a moeda irá se comportar no período de execução do projeto é considerado como uma forma de gerenciar riscos financeiros do projeto, pois ela influenciará diretamente o Custo de Capital (investimento inicial) e o Custo de O&M.

Sobre os *stakeholders*, esses possuem uma importante influência sobre o sucesso do projeto. Sendo eles influenciados diretamente pelos resultados do projeto, é necessário que eles se tornem participativos durante o seu andamento e que os objetivos do empreendimento não gerem dúvidas. Deseja-se, com isso, formar *stakeholders* promotores do projeto, os fazendo perceber os benefícios que poderão ser gerados (GONZÁLEZ; GONÇALVES; VASCONCELOS, 2017).

Por fim, a tramitação de licenças e certificações que autorizam a construção e operação de um empreendimento eólico pode sofrer atrasos na sua concessão. Como efeito, eles podem gerar aumento no custo de capital do projeto, visto que variações cambiais não consideradas podem elevar o investimento destinado, principalmente, a compra das máquinas. Além disso, poderão provocar atrasos na obra e aplicação de penalidades previstas em contrato.

Este tratamento individual para cada uma das variáveis descritas acima, permitirá a formação de diferentes cenários, os quais terão seu desempenho analisado na fase seguinte, que consiste na obtenção dos resultados técnicos e econômicos a partir de métodos quantitativos.

Os cenários formatados poderão apresentar uma situação pessimista, uma otimista e uma com maior probabilidade de ocorrer.

5.1.4 Análise dos métodos de viabilidade técnico-econômicos

A partir dos elementos coletados, conforme item 5.1.2, e cenários de estudo definidos, conforme item 5.1.3, é possível estimar os resultados técnicos econômicos para cada uma das situações consideradas no projeto. O objeto de análise será o fluxo de caixa projetado, podendo ele ser verificado por diferentes métodos determinísticos ou probabilísticos. Os métodos estão agrupados no quadro 07.

Quadro 07 – Métodos de viabilidade técnico-econômica.

Métodos de Viabilidade Econômica	Métodos de Viabilidade Técnica
Valor Presente Líquido (VPL) Taxa Interna de Retorno (TIR) <i>Payback</i> Retorno sobre Investimento (ROI) <i>Life Cycle Cost (LCC)</i> Opções Reais	<i>Levelized Cost of Energy (LCOE)</i> Fator de Capacidade Produção de Energia/ano

Fonte: Elaboração própria (2017).

- **Valor Presente Líquido (VPL):** apresenta-se como um modelo determinístico, onde o fluxo de caixa é descontado a uma taxa denominada Taxa Mínima de Atratividade (TMA), conforme item 3.4.1 deste estudo. O projeto será considerado viável quando o Valor Presente Líquido assumir valores maiores que zero (LEE *et al.*, 2016; AMANOR-BOADU; PFROMM; NELSON, 2013).
- **Taxa Interna de Retorno (TIR):** é normalmente utilizado em conjunto com o método do Valor Presente Líquido, indicando a taxa que um fluxo de caixa retornará em um determinado tempo. Esse método indica que um projeto é viável quando o valor nele obtido é superior à Taxa Mínima de Atratividade considerada no cálculo do VPL (LEE *et al.*, 2016; SANTOS-ALAMILLOS *et al.*, 2017).

- **Payback:** representa o período onde os custos de investimento são recuperados a partir das receitas líquidas geradas pelo projeto (MADASSER; YIRIDOE; CORSCADDEN, 2013; LEE *et al.*, 2016). Nesse caso o *Payback* é o período que torna o Valor Presente Líquido igual a zero, indicando que não há lucro, nem prejuízo.
- **Retorno sobre Investimento (ROI):** esse método indica o quanto está sendo gerado de ganhos financeiros pelo projeto para cada unidade de investimento aplicada. Diferente da TIR, esse método fornece valores em dinheiro.
- **Life Cycle Cost (LCC):** consiste na análise do ativo englobando as fases de aquisição, operação e manutenção, substituição e desmonte (valor residual). Esse método utiliza combina o Valor Presente Líquido e a Taxa Interna de Retorno com valores para análise. É tratado de maneira determinística, porém considera na sua construção, diferentes alternativas para um mesmo objetivo de investimento.
- **Opções Reais:** este método consiste na criação de diferentes opções de investimento que serão analisadas a partir do Método do Valor Presente Líquido e da Taxa Interna de Retorno. A sua aplicação incorpora a dinâmica do mercado, exigindo um prêmio sobre o Valor Presente Líquido para tomada de decisão de aceitar ou abandonar o projeto (JACINTO, 2011). Neste caso o VPL e a TIR são tratados de forma probabilística, podendo utilizar a Simulação de Monte Carlo como ferramenta de suporte.
- **Levelized Cost of Energy (LCOE):** o método relaciona os custos de investimento, custos na operação e manutenção do empreendimento, custo de descomissionamento com a quantidade de energia produzida. Dessa forma, representa o quanto um produtor de energia deveria obter de receita por kWh, de modo que seja suficiente cobrir as despesas operacionais, os investimentos, os juros e remunerar os investidores (NAKABAYASHI, 2014).
- **Fator de Capacidade:** o presente método indica informações sobre a produtividade de determinada turbina eólica. O fator de capacidade é um importante indicador da produtividade do aerogerador e representa a fração

da potência de saída pelo aerogerador durante o período de tempo, comparando com a potência nominal (MOHAMMADI; MOSTAFAEIPOUR, 2013).

- **Produção de energia/ano:** refere-se à produção de energia gerada pelo conjunto de turbinas eólicas, permitindo verificar se a demanda será atendida conforme a configuração que se propõe para o empreendimento eólico (TEETZ, HARMS; VON BACKSTRÖM, 2003; HAMOUDA, 2012; MOHAMMADI; MOSTAFAEIPOUR, 2013; CASTRO-SANTOS *et al.*, 2016; MAMAGHANI *et al.*, 2016; SANTOS: 2016). A produção é medida em kWh.

Nos métodos de viabilidade econômica analisados anteriormente, é possível perceber que o analista pode optar por diferentes formas de conduzir seu estudo, seja por métodos mais tradicionais (VPL, TIR e *Payback*) ou aqueles mais flexíveis (Opções Reais). O VPL e a TIR são as duas técnicas mais refinadas no processo de orçamento de capital para verificar a viabilidade dos investimentos. Na prática, as constantes mudanças de mercado exigem dos gestores uma flexibilidade maior no gerenciamento dos projetos e dos riscos, identificar qual a melhor época para realizar o investimento e quais variações podem ocorrer no resultado (SATURNINO *et al.*, 2012).

Além disso, a análise de viabilidade não deve se limitar aos tradicionais métodos de fluxo de caixa descontado como a única forma de verificação do lucro real do investimento no valor presente. Devem ser considerados outros fatores além da taxa de juros, tais como inflação, previsões de reajustes de receitas e despesas, entre outros (SATURNINO *et al.*, 2012). Nesse sentido, o método das Opções Reais, por incorporarem a incerteza e a volatilidade do mercado, permite uma tomada de decisão mais confiável por parte dos gestores (JACINTO, 2011).

5.1.5 Detalhamento do Projeto

O projeto apresentando-se viável técnica e economicamente, o projeto segue para a fase de implantação, onde serão desenvolvidas as outras etapas necessárias para sua construção e início da operação. Santiago *et al.* (2016), denominam a fase posterior a “Análise de

Viabilidade” como “Desenvolvimento do Projeto”. Ainda conforme o mesmo autor, essa fase envolve a finalização das seguintes atividades: elaboração de estudos ambientais; monitoramento do vento; elaboração do projeto básico/*layout/Micrositing*; avaliação das condições do site e rendimento energético; suporte para conexão à rede; suporte para seleção do aerogerador; elaboração do projeto construtivo; processos técnicos e legais; licenciamento e registro do projeto.

CAPÍTULO 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os níveis cada vez mais crescentes de dióxido de carbono eliminados na atmosfera estão provocando mudanças significativas no clima da Terra. A produção de energia tem sua parcela de contribuição neste cenário, uma vez que determinadas fontes utilizam combustíveis fósseis em sua produção. Como forma de retardar o impacto causado por essa atividade, as energias renováveis têm ganhado maior importância pelos países, principalmente os desenvolvidos.

Neste âmbito, o recurso eólico apresenta-se como uma das principais fontes renováveis exploradas no mundo. A importância dada a esse setor tem se tornado expressiva e vem sendo acompanhada por importantes estudos, desenvolvimento de novas tecnologias e implantação de empreendimentos em países desenvolvidos e em desenvolvimento. Assim como qualquer outro produto vendido no mercado, a energia caracteriza-se também como uma mercadoria.

Nesse sentido, a venda de energia proveniente de fontes renováveis passou a ser um setor que recebe altos investimentos privados e, portanto, espera-se dela bons resultados financeiros (lucro). Motivado por esse comportamento e percebendo o crescimento nos próximos anos para o setor de energia eólica, a presente pesquisa teve como objetivo geral propor um modelo conceitual para estudos de viabilidade técnico-econômica em projetos de energia eólica.

Para atingir o objetivo geral, foram propostos três objetivos específicos: (i) realizar um levantamento bibliográfico sobre os métodos de estudo de viabilidade técnico-econômica utilizados em projetos de energias renováveis; (ii) construir uma base teórica sobre os princípios da energia eólica e métodos de análise de viabilidade técnico-econômica; (iii) estruturar um modelo conceitual de estudo de viabilidade técnico-econômica para projetos de energia eólica, a partir da revisão bibliográfica.

Sobre o primeiro objetivo específico, foi realizado um levantamento bibliográfico no Portal de Periódicos da CAPES considerando a combinação das palavras-chaves: “*economic feasibility*” and “*wind energy*” e “*economic feasibility*” and “*wind power*”. Esse procedimento resultou na seleção de 39 artigos, os quais foram classificados na etapa de revisão bibliográfica sistemática.

O segundo objetivo específico foi atendido com a construção do capítulo 3 desta pesquisa. No capítulo em questão foi desenvolvida uma base teórica tratando dos temas energia

eólica (quanto a sua evolução); componentes de um aerogerador; prospecção de empreendimentos eólicos no Brasil e; métodos de análise de viabilidade técnico-econômica. Nesse ponto, foram considerados sete diferentes métodos, sendo eles: valor presente líquido; taxa interna de retorno; *payback*; retorno sobre investimento; *life cycle cost*; *levelized cost of energy*; opções reais.

O terceiro objetivo específico foi contemplado a partir da análise e classificação dos 39 artigos considerados na fase de revisão bibliográfica sistemática. Os estudos foram classificados quanto: publicações por ano; distribuição geográfica; publicações por periódico; elementos de entrada para estudo de viabilidade econômica; elementos de entrada para estudo de viabilidade técnica; métodos de análise de viabilidade econômica; métodos de análise de viabilidade técnica.

Quanto ao número de publicações por ano, 2017 foi o ano mais representativo com 9 publicações. Sobre a distribuição geográfica, a Ásia aparece como maior detentora dos autores que realizaram esse tipo de estudo. Foram 19 ao total. O periódico com maior número de publicações sobre o assunto foi o *Renewable Energy*, totalizando 8 artigos. O elemento de entrada para estudo de viabilidade econômica e técnica mais expressivos foram o custo de capital, e a velocidade do vento, respectivamente. Por fim, em relação aos métodos de viabilidade, tem-se que no econômico o mais utilizado é o VPL, enquanto que o técnico é o LCOE.

A classificação e análise dos artigos resultou no modelo conceitual, representado pela figura 10 desta pesquisa, contemplando assim, o terceiro objetivo específico. O modelo conceitual foi dividido em cinco fases. São elas: avaliação da disponibilidade de recurso eólico; coleta dos elementos econômicos e técnicos; definição de cenários; análise dos métodos de viabilidade técnico-econômico e; detalhamento do projeto. Na definição de cenários foi proposto a análise de quatro importantes pontos adicionais, não considerados nos estudos analisados. São eles: possibilidade de presença de sítios arqueológicos, variação cambial, interferência dos *stakeholders* e a obtenção de licenças e certificações para construção e operação do empreendimento.

Essa etapa também permitiu conhecer os métodos aplicados em projetos de energia eólica, respondendo a problemática desta pesquisa “Quais métodos de viabilidade técnico-econômica podem ser aplicados aos estudos de viabilidade de projetos de energia eólica?”.

Por fim, este estudo apresenta como limitação a sua abordagem apenas teórica, uma vez que, pelo fator tempo, não foi possível testar na prática o modelo proposto. Assim sendo, como recomendação para futuros trabalhos, propõe-se a aplicação dos conceitos estudados e do modelo conceitual proposto em instituições que executam esse tipo de atividade. Além disso, é deixado como recomendação aplicar e averiguar a compatibilidade do modelo para outras fontes renováveis de energia.

REFERÊNCIAS

- AMANOR-BOADU, V.; PFROMM, P. H.; NELSON, R. Economic feasibility of algal biodiesel under alternative public policies. **Renewable Energy**, v. 67, p.136-142, jul. 2014.
- ANASTASOPOULOU, A. et al. Techno-Economic Feasibility Study of Renewable Power Systems for a Small-Scale Plasma-Assisted Nitric Acid Plant in Africa. **Processes**, v. 4, n. 4, p.54-68, 19 dez. 2016.
- ARK, E. et al. Economic Feasibility of Renewable Electricity Generation Systems for Local Government Office: Evaluation of the Jeju Special Self-Governing Province in South Korea. **Sustainability**, [s.l.], v. 9, n. 1, p.82-95, 9 jan. 2017.
- ARK, E. Potentiality of renewable resources: Economic feasibility perspectives in South Korea. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, v. 79, p.61-70, nov. 2017.
- ASKARI, I. B. et al. Optimisation and techno-economic feasibility analysis of hybrid (photovoltaic/wind/fuel cell) energy systems in Kerman, Iran; considering the effects of electrical load and energy storage technology. **International Journal Of Sustainable Energy**, v. 33, n. 3, p.635-649, 28 fev. 2013.
- ATAEI, A. et al. Techno-economic feasibility study of autonomous hybrid wind and solar power systems for rural areas in Iran, A case study in Moheydar village. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 34, n. 5, p.1521-1527, 29 abr. 2015.
- ATURNINO, V. et al. **Análise de viabilidade da opção real de requalificação de um engenho em pernambuco: uma aplicação da simulação de monte carlo.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2., 2012, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2012. p. 3826 - 3838.
- BANESHI, M.; HADIANFARD, F. Techno-economic feasibility of hybrid diesel/PV/wind/battery electricity generation systems for non-residential large electricity consumers under southern Iran climate conditions. **Energy Conversion And Management**, v. 127, p.233-244, nov. 2016.
- BEZERRA, A. C. **Ventos do passado: sítios arqueológicos encontrados em licenciamento de parque eólico na Bahia.** In: BRASIL WINDPOWER. 2015, Rio de Janeiro, 2015. p. 1 - 6.
- BRERETON, P. et al. Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. **The Journal Of Systems And Software**. p. 571-583. ago. 2016.
- CAMPANA, P. E.; LI, Hailong; YAN, Jinyue. Techno-economic feasibility of the irrigation system for the grassland and farmland conservation in China: Photovoltaic vs. wind power water pumping. **Energy Conversion And Management**, v. 103, p.311-320, out. 2015.
- CASTRO, L. C. E. **Análise comparativa para geração de energia heliotérmica em diferentes regiões brasileiras.** 2016. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

CASTRO, Rui M.g.. **Energias Renováveis e Produção Descentralizada**: introdução à energia eólica. Rui M.G. Castro Janeiro de. 2003. 74 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2003.

CASTRO-SANTOS, L. et al. Economic feasibility of floating offshore wind farms. **Energy**, v. 112, p.868-882, out. 2016.

CHAUHAN, A.; SAINI, R.p.. Techno-economic feasibility study on Integrated Renewable Energy System for an isolated community of India. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, v. 59, p.388-405, jun. 2016.

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

CRESESB - **Energia Eólica: Princípios e Tecnologias**. 2008. Disponível em <http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/tutorial_eolica_2008_e-book.pdf>. Acesso em: 11 de outubro de 2017.

DAS, B. K. et al. A techno-economic feasibility of a stand-alone hybrid power generation for remote area application in Bangladesh. **Energy**, v. 134, p.775-788, set. 2017.

FALANI, S. Y. A. **Prospecção tecnológica para geração de energia eólica**. 2014. 123 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, 2014.

FERREIRA, H. T. **Energia eólica**: barreiras a sua participação no setor elétrico brasileiro. 2008. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

FONTELLES, M. J. et al. **Metodologia da pesquisa científica**: diretrizes para a elaboração de um protocolo de pesquisa. Goiás: UFG, 2009.

FTHENAKIS, V.; MASON, J. E.; ZWEIBEL, K. The technical, geographical, and economic feasibility for solar energy to supply the energy needs of the US. **Energy Policy**, v. 37, n. 2, p.387-399, fev. 2009.

GEBREZGABHER, S. A.; MEUWISSEN, M. P. M.; LANSINK, A. G.j.m. O.. Energy-neutral dairy chain in the Netherlands: An economic feasibility analysis. **Biomass And Bioenergy**, v. 36, p.60-68, jan. 2012.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4a ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GONZÁLEZ, M. O. A.; GONÇALVES, J. S.; VASCONCELOS, R.M. Sustainable development: Case study in the implementation of renewable energy in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, V. 142, p. 461-475, 2017.

GONZÁLEZ, M. O. A.; TOLEDO, J. C. **A integração do cliente no processo de desenvolvimento de produto**: revisão bibliográfica sistemática e temas para pesquisa. Produção (São Paulo. Impresso), v. 22, p. 14-26, 2012.

GONZÁLEZ, M. O. **Processo para gerenciar a integração de clientes no processo de desenvolvimento de produtos**. 2010. 242 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil, 2010.

GWEC. **Global Wind Statistics**. Bruxelas: 2017. 4 p. Disponível em: <http://www.gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC_PRstats2016_EN_WEB.pdf>. Acesso em: 10 set. 2017.

HAMOUDA, Y. A. Wind energy in Egypt: Economic feasibility for Cairo. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 5, p.3312-3319, jun. 2012.

HAN, M. J.; YADAV, A. K.; MATHEW, L. Techno economic feasibility analysis of different combinations of PV-Wind-Diesel-Battery hybrid system for telecommunication applications in different cities of Punjab, India. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, v. 76, p.577-607, set. 2017.

HESSAMI, M.; BOWLY, D. R. Economic feasibility and optimisation of an energy storage system for Portland Wind Farm (Victoria, Australia). **Applied Energy**, v. 88, n. 8, p.2755-2763, ago. 2011.

IEA. **CO2 emissions from fuel combustion: HIGHLIGHTS**. Paris: OECD/IEA, 2016. 166 p.
JACINTO, J. A. da G. **Avaliação do projecto de investimento de três parques eólicos em ambiente onshore e offshore**. 2011. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Contabilidade Internacional, Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Lisboa, Lisboa, 2011.

JEFFERY, M. **Return on Investment Analysis for E-business Projects**. 2013.

KAZEM, H. A. et al. Techno-economic feasibility analysis of 1 MW photovoltaic grid connected system in Oman. **Case Studies In Thermal Engineering**, v. 10, p.131-141, set. 2017.

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

LI, C. et al. Techno-economic feasibility study of autonomous hybrid wind/PV/battery power system for a household in Urumqi, China. **Energy**, v. 55, p.263-272, jun. 2013.

MAIER, S.; OLIVEIRA, L. B. Economic feasibility of energy recovery from solid waste in the light of Brazil's waste policy: The case of Rio de Janeiro. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, v. 35, p.484-498, jul. 2014.

MAMAGHANI, A. H. et al. Techno-economic feasibility of photovoltaic, wind, diesel and hybrid electrification systems for off-grid rural electrification in Colombia. **Renewable Energy**, v. 97, n. 1, p.293-395, jun. 2016.

MOHAMMADI, K.; MOSTAFAEIPOUR, A. Economic feasibility of developing wind turbines in Aligoodarz, Iran. **Energy Conversion And Management**, v. 76, p.645-653, dez. 2013.

MUDASSER, M.; YIRIDOE, E. K.; CORSCADDEN, K. Economic feasibility of large community feed-in tariff-eligible wind energy production in Nova Scotia. **Energy Policy**, v. 62, p.966-977, nov. 2013.

NAKABAYASHI, R. K. **Microgeração fotovoltaica no brasil: condições atuais e perspectivas futuras**. 2014. 107 f. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

PADUAM, T. C.; FABRI, J. A.; L'ERARIO, A. Modelo para Calcular o Retorno sobre Investimento após a Implantação de Software. **Revista de Sistemas de Informação da Fisma**, Rio de Janeiro, v. 15, p.40-51, 2015.

QOLIPOUR, M.; MOSTAFAEIPOUR, A.; TOUSI, O. M. Techno-economic feasibility of a photovoltaic-wind power plant construction for electric and hydrogen production: A case study. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, v. 78, p.113-123, out. 2017.

RAMÍREZ-SAGNER, G. et al. Economic feasibility of residential and commercial PV technology: The Chilean case. **Renewable Energy**, v. 111, p.332-343, out. 2017.

RECALDE, M. Wind power in Argentina: Policy instruments and economic feasibility. **International Journal Of Hydrogen Energy**, v. 35, n. 11, p.5908-5913, jun. 2010.

SALLES, A. C. N. de. **Metodologias de análise de risco para avaliação financeira de projetos de geração eólica**. 2004. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

SAMPAIO, P. G.V.; GONZÁLEZ, M. O. A. Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. **Renewable & Sustainable Energy Review**. V. 74, p. 590-601, 2017.

SANTIAGO, G. et al. **Prospecção de parques eólico: proposta de um modelo conceitual exploratório**. In: BRASIL WINDPOWER. 2016, Rio de Janeiro, 2016. p. 1 - 10.

SANTOS, M. A. T. **Sistema de medição de desempenho para operação e manutenção de parques eólicos no Brasil**. 2016. 201 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, 2016.

SANTOS-ALAMILLOS, F. J. et al. Assessing the economic feasibility of the gradual decarbonization of a large electric power system. **Journal Of Cleaner Production**, v. 147, p.130-141, mar. 2017.

SCHMID, A. L.; HOFFMANN, C. A. A. Replacing diesel by solar in the Amazon: short-term economic feasibility of PV-diesel hybrid systems. **Energy Policy**, v. 32, n. 7, p.881-898, maio 2004.

SHAAHID, S. M.; AL-HADHRAMI, L. M.; RAHMAN, M. K.. Economic feasibility of development of wind power plants in coastal locations of Saudi Arabia – A review. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, v. 19, p.589-597, mar. 2013

SHAHZAD, M. K. et al. Techno-economic feasibility analysis of a solar-biomass off grid system for the electrification of remote rural areas in Pakistan using HOMER software. **Renewable Energy**, v. 106, p.264-273, jun. 2017.

SIQUEIRA, M. E. M. **Desenvolvimento sustentável de produtos em ambientes fashion: modelo conceitual**. 2017. 101 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

STOCKTON, K. M.. Utility-scale wind on islands: an economic feasibility study of Ilio Point, Hawai'i. **Renewable Energy**, v. 29, n. 6, p.949-960, maio 2004.

TEETZ, H. W.; HARMS, T. M.; VON BACKSTRÖM, T. W.. Assessment of the wind power potential at SANAE IV base, Antarctica: a technical and economic feasibility study. **Renewable Energy**, v. 28, n. 13, p.2037-2061, out. 2003.

TRIGEORGIS, L. **Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation**. Londres: Mit Press, 1996. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=Z8o20TmBiLcC&pg=PA23&hl=pt-BR&source=gbs_toc_r&cad=2#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 15 out. 2017.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção**. Itajubá: UNIFEI, 2012. v. 50, p.669-676, nov. 2012.

VASCONCELOS, R. M. de. **Construção de parques eólicos: Proposta de Diretrizes e Boas Práticas**. 2016. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

VIEIRA, C. B. H. A. et al. **Índices de rentabilidade: um estudo sobre os indicadores roa, roi e roe de empresas do subsetor de tecidos, calçados e vestuários listadas na bovespa**. In: VIII CONVIBRA ADMINISTRAÇÃO, 2011. p. 1 - 14.

VYN, R. J.; VIRANI, T.; DEEN, B. Examining the economic feasibility of miscanthus in Ontario: An application to the greenhouse industry. **Energy Policy**, v. 50, p.669-676, nov. 2012.