



Universidade Federal de Ouro Preto
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Departamento de Engenharia Elétrica



Energia Eólica: Viabilidade Técnica e Econômico-Financeira

Estevão Tavares

João Monlevade, MG
2016

Universidade Federal de Ouro Preto
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Departamento de Engenharia Elétrica

Energia Eólica: Viabilidade técnica e econômico-financeira

Estevão Tavares

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Engenharia

Orientador: Prof. Francisco Ricardo Abrantes Couy Baracho, Msc.

**João Monlevade, MG
2016**

T231e Tavares, Estevão.
Energia eólica [manuscrito]: viabilidade técnica e econômico-financeira /
Estevão Tavares. - 2016.

49f.: il.: color; grafs; tabs; mapas.

Orientador: Prof. Me. Francisco Ricardo Abrantes Couy Baracho.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de
Ciências Exatas e Aplicadas. Departamento de Engenharia Elétrica.

1. Energia eólica. 2. Energia eólica - custos. 3. Fontes alternativas de energia.
4. Recursos energéticos renováveis. I. Baracho, Francisco Ricardo Abrantes
Couy. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 621.548



ANEXO IV - ATA DE DEFESA

Aos 02 dias do mês de junho de 2016, às 14 horas, no bloco E deste instituto, foi realizada a defesa de monografia pelo formando Estevão Tavares, sendo a comissão examinadora constituída pelos professores: Francisco Ricardo Abrantes Couy Baracho, Willington Guerra Zvietcovich e Ronan Silva Ferreira. O candidato apresentou a monografia intitulada: **Energia Eólica: Viabilidade Técnica e Econômico-Financeira**. A comissão examinadora deliberou, por unanimidade, pela aprovação do candidato, com a nota média 7,5, de acordo com a tabela 1. Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da comissão examinadora e pelo formando.

Tabela 1 – Notas de avaliação da banca examinadora

Banca Examinadora	Nota
Francisco Ricardo Abrantes Couy Baracho	7,5
Willington Guerra Zvietcovich	7,5
Ronan Silva Ferreira	7,5
Média	7,5

João Monlevade, 02 de junho de 2016.

Francisco Ricardo A.C. Baracho
Francisco Ricardo Abrantes Couy Baracho
Professor(a) Orientador(a)

Estevão T.
Estevão Tavares
Aluno (a)

Ronan Silva Ferreira
Professor(a) Convidado(a)

Ronan Silva Ferreira

Willington Guerra Z.
Professor(a) Convidado(a)

Willington Guerra Zvietcovich



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Colegiado do Curso de Engenharia de Elétrica



UFOP

ANEXO X - TERMO DE RESPONSABILIDADE

O texto do trabalho de conclusão de curso intitulado “**Energia Eólica: Viabilidade Técnica e Econômico-Financeira**” é de minha inteira responsabilidade. Declaro que não há utilização indevida de texto, material fotográfico ou qualquer outro material pertencente a terceiros sem a devida citação ou consentimento dos referidos autores.

João Monlevade, 02 de Junho de 2016.

Estevão Tavares

Aluno

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado força para nunca desistir perante os desafios que enfrentei em minha vida. Agradeço à toda minha família, meus pais, irmão, meus avós e tios que sempre me apoiaram e me deram suporte para atingir meus objetivos com sucesso.

Agradeço a todos os professores do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas UFOP, os quais contribuíram imensamente para a minha formação, através dos ensinamentos passados nestes anos de graduação. Agradeço a todos os grandes amigos e colegas de curso que tive a oportunidade de conhecer na cidade de João Monlevade.

Agradeço de forma especial ao professor Francisco Ricardo Abrantes Couy Baracho por ter aceitado ser meu orientador neste Trabalho de Conclusão de Curso. Não há palavras para descrever a minha gratidão pela excelente experiência que tive como seu orientado.

Resumo

Este trabalho tem como objetivos gerais mostrar uma revisão bibliográfica sobre energia eólica, e mostrar os aspectos das análises de viabilidade técnica, econômico–financeira e ambiental. Para depois aplicar os conceitos obtidos em um estudo de caso de viabilidade técnica e econômico–financeira da implantação de uma usina eólica em numa determinada região. Foi escolhida a região de Itaparica localizada no estado da Bahia. Para a qual, com os dados específicos da região obtidos através do Atlas Eólico da Bahia, dados técnicos do aerogerador escolhido e dados financeiros do projeto, foram construídas planilhas no Excel para gerar os resultados de alguns indicadores financeiros. Desses, foram utilizados para a tomada de decisão do projeto o VPL (Valor Presente Líquido), a TIR (Taxa Interna de Retorno) e o PAYBACK (tempo de retorno do investimento). Com a finalidade de verificar o comportamento destes indicadores perante a variação de alguns parâmetros foi feito uma análise de sensibilidade. No trabalho, os parâmetros variados foram o preço de comercialização de energia e a participação do capital de terceiros. Os resultados obtidos levaram a aceitação do projeto estudado, uma vez que o valor de VPL é positivo e o valor da TIR é maior do que o valor da TMA (Taxa Mínima de Atratividade).

Palavras–chave: Análise de Sensibilidade; Energia Eólica; PAYBACK; TIR; Viabilidade Econômico–Financeira; VPL; Viabilidade Técnica;

Abstract

This work has general objectives: to show a literature review on wind energy and to show aspects of technical, economical–financial, and environmental feasibility studies. The main objective is to apply the concepts obtained, in a technical and economical–financial feasibility case study of implementation of a wind power plant in a given region. In this work, it was chosen Itaparica region located in the state of Bahia. With region-specific data obtained from the Wind Atlas of Bahia, technical data of the selected wind turbine and financial data of the project, spreadsheets were developed in Excel to generate the results of certain financial indicators. The financial indicators used for this project decision-making were the VPL, TIR and PAYBACK. A sensitivity analysis of VPL and TIR was implemented as well. This analysis is very important to conduct verification of these financial indicators before the variation of some parameters. The parameters were the energy trading price and the share of debt. The results obtained led to the acceptance of the study design, since the VPL value is positive and the value of TIR is greater than the value of TMA.

Key-words: Economical–Financial Feasibility; PAYBACK; Sensitivity Analysis; Technical Feasibility; TIR; VPL; Wind Energy.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Preço de geração de energia elétrica por fonte(R\$/MWh) (REDAÇÃO ASSIMQUEFAZ, 2015).	1
Figura 2 – Matriz energética brasileira (Caminho Sustentável, 2014).	3
Figura 3 – Moinho de vento (Metalurgia das Letras, 2011).	4
Figura 4 – Turbina eólica de eixo vertical (Dinâmica Ambiental, 2015).	6
Figura 5 – Turbina eólica de eixo horizontal (Universidade do Minho, 2015).	7
Figura 6 – Gerador eólico com caixa multiplicadora (Centro de Energia Eólica-PUCRS, 2015).	7
Figura 7 – Controle Estol (FARIA, 2016).	8
Figura 8 – Controle de passo (FARIA, 2016).	9
Figura 9 – Curvas do coeficiente de potência em função da velocidade de ponta e o ângulo de passo (BRITO, 2008).	10
Figura 10 – Torres em um parque eólico (A Geradora, 2012).	10
Figura 11 – Distribuição Geral dos Ventos (AMARANTE et al., 2001).	11
Figura 12 – Médias climatológicas sazonais de temperatura, precipitação e velocidade de vento sobre o Brasil (AMARANTE et al., 2001).	12
Figura 13 – Potencial eólico estimado para vento médio anual igual ou superior a 7,0 m/s (AMARANTE et al., 2001).	13
Figura 14 – Curva de potência típica de um aerogerador com controle tipo estol (BRITO, 2008).	13
Figura 15 – Curva de potência típica de um aerogerador com controle de passo (BRITO, 2008).	14
Figura 16 – Representação de um fluxo de caixa.	15
Figura 17 – Curva de potência do aerogerador E-48 (ENERCON, 2016).	23
Figura 18 – Sensibilidade do VPL ao preço da comercialização de energia	27
Figura 19 – Sensibilidade do VPL à participação do capital de terceiros	27
Figura 20 – Sensibilidade da TIR ao preço da comercialização de energia	28
Figura 21 – Sensibilidade da TIR à participação do capital de terceiros	28

Lista de tabelas

Tabela 1 – Itens de composição dos fluxos de caixa de um projeto eólico (ABREU, 2008).	16
Tabela 2 – Resumo dos parâmetros utilizados no estudo de caso	24
Tabela 3 – Fluxo de Caixa do Projeto de Itaparica.	25

Lista de Símbolos

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico Social
COFINS	Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
CPMF	Contribuição Provisória sobre Movimentação Financeira
CSLL	Contribuição Social sobre o Lucro Líquido
FC	Fator de Capacidade
FCD	Fluxo de Caixa Descontado
IR	Imposto de Renda
MW	Mega-Watt
MWh	Mega-Watt-hora
O&M	Operação e Manutenção
PA	Progressão Aritmética
PIS	Programa de Integração Social
RPM	rotações Por Minuto
SAC	Sistema de Amortização Constante
TFSEE	Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica
TIR	Taxa Interna de Retorno
TJLP	Taxa de Juros de Longo Prazo
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
VPL	Valor Presente Líquido

Sumário

	Sumário	xi
1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Motivação e Justificativa	1
1.2	Objetivos	2
1.2.1	Objetivos Gerais	2
1.2.2	Objetivos Específicos	2
1.3	Organização do Trabalho	2
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1	Energias Renováveis	3
2.2	Energia Eólica	4
2.2.1	Informações Gerais	4
2.2.2	Princípio Físico	4
2.2.3	Componentes de um Sistema Eólico	5
3	VIABILIDADE TÉCNICA	11
3.1	Regime dos Ventos	11
3.2	Potencial Eólico do Brasil	11
4	VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA	15
4.1	Fluxos de Caixa de um Projeto Eólico	15
4.1.1	Receita Direta Operacional Bruta	15
4.1.2	Receitas Indiretas	16
4.1.3	Investimento	16
4.1.4	Despesas Operacionais	16
4.1.5	Custos Operacionais	17
4.1.6	Despesas Financeiras	17
4.1.7	Contribuição Social sobre o Lucro Líquido	17
4.1.8	Provisão para imposto de renda	17
4.1.9	Amortização do financiamento	17
4.2	CrITÉRIOS da Análise Determinística	18
4.3	CrITÉRIOS da Análise de Risco	19
4.3.1	Análise de Sensibilidade	19
4.3.2	Análise de Cenários	19
5	IMPACTO AMBIENTAL	20
5.1	Emissão de Ruídos	20
5.2	Impacto Visual	20

5.3	Impacto sobre a Avifauna	20
6	ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICO-FINANCEIRA DE UM PROJETO EÓLICO	22
6.1	Considerações Gerais	22
6.2	Análise Determinística do Estudo de Caso	23
6.3	Análise de Sensibilidade do Estudo de Caso	26
6.3.1	Análise de Sensibilidade do VPL do Projeto	26
6.3.2	Análise de Sensibilidade da TIR do Projeto	28
7	CONCLUSÕES	29
	Referências	31
	A – PLANILHA ENERGIA	33
	B – PLANILHA VPL E TIR	34
	C – PLANILHA PAYBACK	35
	D – PLANILHA SENSIBILIDADE DO VPL	36
	E – PLANILHA SENSIBILIDADE DA TIR	37

1 Introdução

1.1 Motivação e Justificativa

A era atual é considerada altamente tecnológica, onde conforto e comodidade estão aliados diretamente ao consumo de energia. A evolução tecnológica levantou assuntos polêmicos e o que mais se discute hoje é a questão da sustentabilidade, que é o desenvolvimento econômico e material sem agressão ao meio ambiente (EPALANGA et al., 2013). Com a ação do ser humano sobre a natureza, sabe-se que em um futuro bem próximo nossos recursos se tornarão escassos. Isso nos remete a pensar na necessidade de um planeta ecologicamente mais limpo e sustentável.

A fonte de energia mais utilizada no Brasil é a hidráulica. No ano de 2015, o país enfrentou uma crise nesse setor frente a falta de chuvas. Por consequência, desde então, para suprir o consumo dos brasileiros a cada ano, o governo começou a utilizar em maior escala as usinas termelétricas. Em vista disso, o preço da energia elétrica no país aumentou consideravelmente. A figura 1 mostra um comparativo dos custos para geração de energia elétrica de diversas fontes (ONS, 2016).

Figura 1 – Preço de geração de energia elétrica por fonte(R\$/MWh) (REDAÇÃO ASSIMQUEFAZ, 2015).

Fonte	Custo fixo	CVU(R\$/MWh)	Preço final
Hidrelétrica de grande porte	84,58	-	84,58
Eólica	99,58	-	99,58
Hidrelétrica de médio porte	147,46	-	147,46
Pequena central hidrelétrica	158,94	-	158,94
Térmica nuclear	145,48	20,13	165,61
Térmica a carvão	159,34	169,09	328,43
Térmica a biomassa	171,44	167,23	338,67
Térmica a gás natural	166,94	186,82	353,76
Térmica a óleo combustível	166,57	505,76	672,33
Térmica a óleo diesel	166,57	630,29	796,86
Solar Fotovoltaica ^[2]	Não informado	-	

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS)

Nesse contexto, o investimento em outras fontes renováveis de energia vem crescendo a cada ano. “A energia eólica é hoje uma fonte de energia economicamente viável e que tem tido um grande desenvolvimento tecnológico nos últimos 20 anos” (EPALANGA et al., 2013).

Assim, este trabalho tem o intuito de reafirmar que a energia eólica é um fonte renovável de energia viável, tanto no aspecto técnico quanto no aspecto econômico-financeiro.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Gerais

Caracterizar o potencial eólico do Brasil e mostrar os benefícios da energia eólica, tanto na questão técnica quanto na questão econômico-financeira.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral deste trabalho, tem-se os seguintes objetivos específicos:

- a) Análise da viabilidade técnica da energia eólica no Brasil;
- b) Análise da viabilidade econômica-financeira da energia eólica no Brasil;

1.3 Organização do Trabalho

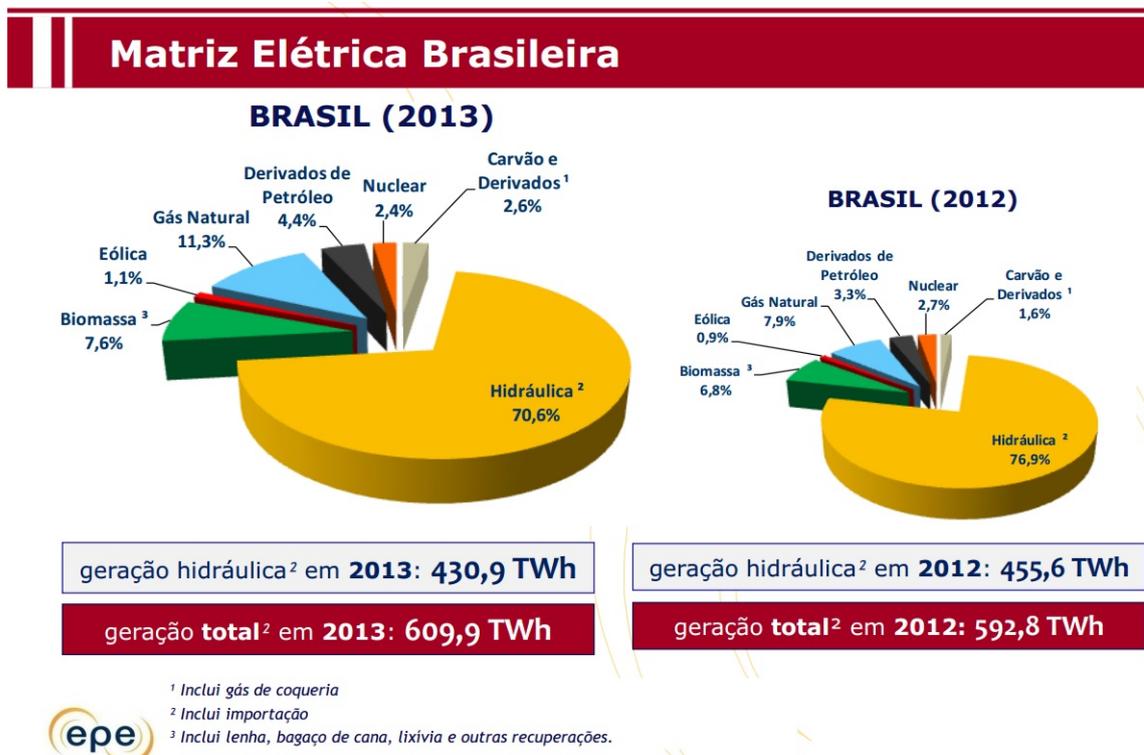
O presente trabalho está estruturado em 7 capítulos. No capítulo 1, apresenta-se as motivações e justificativas do trabalho e, expõe-se os objetivos gerais e específicos. O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre os principais conceitos, características e aplicações dos empreendimentos eólicos. O capítulo 3 tem como ênfase a análise técnica da energia eólica no Brasil. O capítulo 4 tem como ênfase a análise econômico-financeira da energia eólica no Brasil. O capítulo 5 tem como ênfase a análise do impacto ambiental da energia eólica no Brasil. O Capítulo 6 apresenta o estudo de caso e discussão dos resultados obtidos. Por fim, o capítulo 7 apresenta as principais conclusões obtidas do trabalho.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Energias Renováveis

Com a eminente crise hídrica que afeta o Brasil nos últimos anos e considerando a constante mudança climática do planeta, a busca por fontes renováveis e limpas de energia cresce a cada dia. As fontes renováveis mais utilizadas atualmente são: energia eólica, biomassa, solar e hídrica (JÚNIOR; DELGADO, 2014). A figura 2 mostra um comparativo da matriz energética brasileira em 2012 e em 2013 (EPE, 2016).

Figura 2 – Matriz energética brasileira (Caminho Sustentável, 2014).



Pode-se inferir da análise da figura 2 que em 2013 a utilização da fonte hídrica diminuiu, ao passo que a utilização das fontes renováveis alternativas (biomassa e eólica) aumentou. A energia eólica apresenta algumas vantagens sobre as outras fontes de energia, mas a principal delas é o seu baixo impacto ambiental (ARAÚJO; FREITAS, 2008).

2.2 Energia Eólica

2.2.1 Informações Gerais

A energia eólica é gerada pela força dos ventos; uma fonte de energia limpa, abundante, e encontrada no mundo todo. Essa fonte de energia já era aproveitada pelos persas no Séc. V, para girar uma hélice, que impulsionava uma bomba de sucção de água, armazenando o líquido em um reservatório e depois utilizando-o na irrigação das plantações. Esse mecanismo é conhecido como moinho de vento (JÚNIOR; DELGADO, 2014). A figura 3 apresenta um moinho de vento muito utilizado nos países baixos.

Figura 3 – Moinho de vento (Metalurgia das Letras, 2011).



Atualmente os moinhos não só servem para sucção da água, mas também são usados para geração de energia elétrica, através da utilização das turbinas eólicas.

2.2.2 Princípio Físico

A geração de energia eólica é obtida através da força dos ventos ou, a conversão da energia cinética dos deslocamentos de ar em energia elétrica. Tal conversão é realizada pelas turbinas eólicas, que captam parte da energia cinética do vento que atravessa o espaço varrido pelo rotor das turbinas (SIMIS, 2010). Pode-se calcular a potência elétrica gerada por uma turbina pela equação 2.1, descrita a seguir:

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times A_r \times v^3 \times C_p \times \eta \quad (2.1)$$

Em que ρ é a densidade do ar, $A_r = \pi d^2 / 4$ onde d é o diâmetro do rotor, v é a velocidade do vento, C_p é o coeficiente aerodinâmico de potência do rotor, e η é a eficiência do

conjunto gerador transmissão. Pode-se concluir da equação 2.1 que a potência elétrica é função da velocidade do vento ao cubo (LIMA; FILHO, 2012).

2.2.3 Componentes de um Sistema Eólico

Um sistema eólico utilizado para gerar energia elétrica possui alguns componentes fundamentais, sendo eles:

- Turbina;
- Gerador;
- Caixa Multiplicadora;
- Sistemas de Controle;
- Torre da Turbina;

As turbinas são responsáveis por transformar a potência dos ventos em energia mecânica, que por sua vez é transformada em energia elétrica através dos geradores. Existem dois tipos de turbinas, classificadas pelo seu eixo: vertical e horizontal. As de eixo vertical são tais que as pás se movem em direção ao fluxo de ar, como as turbinas do tipo darrius e savanius (EPALANGA et al., 2013). A figura 4 apresenta um exemplo de turbina com eixo vertical. Já as turbinas de eixo horizontal são caracterizadas pelo fato das pás girarem em sentido perpendicular ao plano de deslocamento do vento.

As turbinas eólicas são compostas por: rotor, nacela, torre e pás. O rotor é o local onde são fixadas as pás da turbina, de um lado, e o gerador elétrico, do outro. A nacela abriga o gerador e todo circuito elétrico-eletrônico. A torre é a estrutura que sustenta a nacela e as pás (EPALANGA et al., 2013). A figura 5 mostra um exemplo de turbina de eixo horizontal e, ainda, um desenho esquemático de seus componentes.

O transformador mostrado na figura 5 tem a função de transformar a tensão gerada pelo aerogerador em uma tensão apropriada para interligação com a rede.

O gerador tem a função de transformar a energia mecânica em energia elétrica, existem alguns problemas na integração de geradores para a conversão eólica:

1. Variações na velocidade do vento;
2. Variações do torque de entrada;
3. Exigência de frequência e tensões constantes, na interligação com a rede elétrica;

Hoje, os geradores de indução são os mais utilizados.

Figura 4 – Turbina eólica de eixo vertical (Dinâmica Ambiental, 2015).



Uma vez que a velocidade angular das turbinas varia normalmente entre 20 a 150 rpm e os geradores possuem velocidade nominal de trabalho entre 1200 e 1800 RPM, faz-se necessário, então, um sistema de engrenagens para multiplicação da velocidade entre a turbina e o gerador. Vale ressaltar que existem geradores que não possuem a caixa multiplicadora (JÚNIOR; DELGADO, 2014). A figura 6 mostra um gerador com caixa multiplicadora.

Um sistema de controle é utilizado para manter o equilíbrio do sistema eólico, atuando na velocidade, passo, freio, posicionamento do rotor e controle de carga, evitando o colapso do sistema. Isso permite que a turbina converta a energia cinética do vento em energia mecânica. As forças geradas nas pás precisam de um projeto com configurações específicas, pois uma alteração mínima na velocidade do ar, modificando tais forças, necessita de um controle, rápido e efetivo, da potência do rotor, com o intuito de evitar sobrecargas elétricas e mecânicas. Os dois tipos de controle mais utilizados são: estol e passo (DUTRA, 2008).

O controle estol é conhecido por sua simplicidade e consiste em um controle passivo que reage à velocidade do vento. As pás do rotor são fixas em seu ângulo de passo e não podem girar em torno do seu eixo longitudinal. Esse ângulo é escolhido de forma que, para velocidades de vento acima da velocidade nominal, o escoamento em torno das pás do rotor descola da superfície da pá, reduzindo assim as forças de sustentação e aumentando as forças de arrasto. Então, menores sustentações e maiores arrastos atuam

Figura 5 – Turbina eólica de eixo horizontal (Universidade do Minho, 2015).

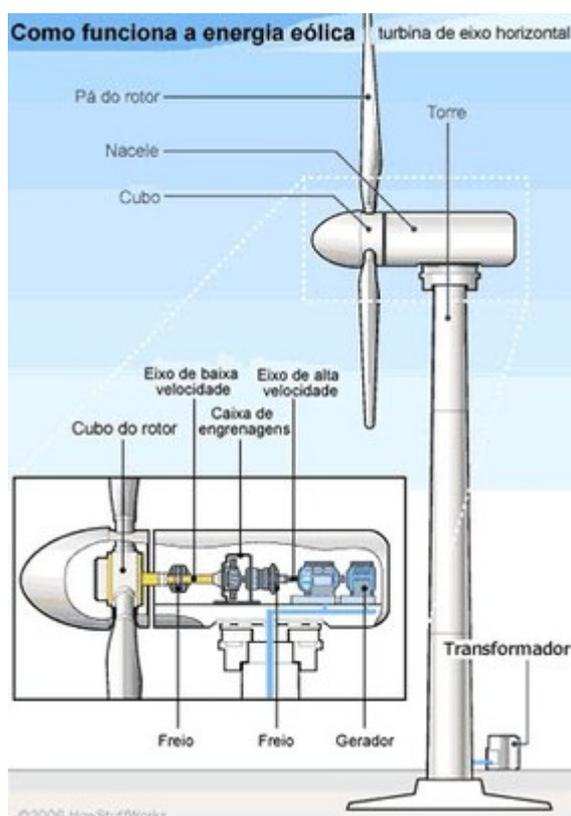
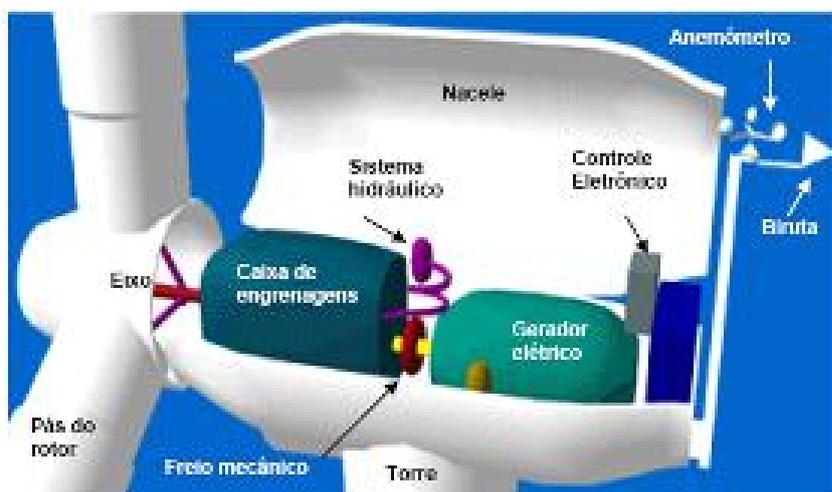


Figura 6 – Gerador eólico com caixa multiplicadora (Centro de Energia Eólica- PUCRS, 2015).



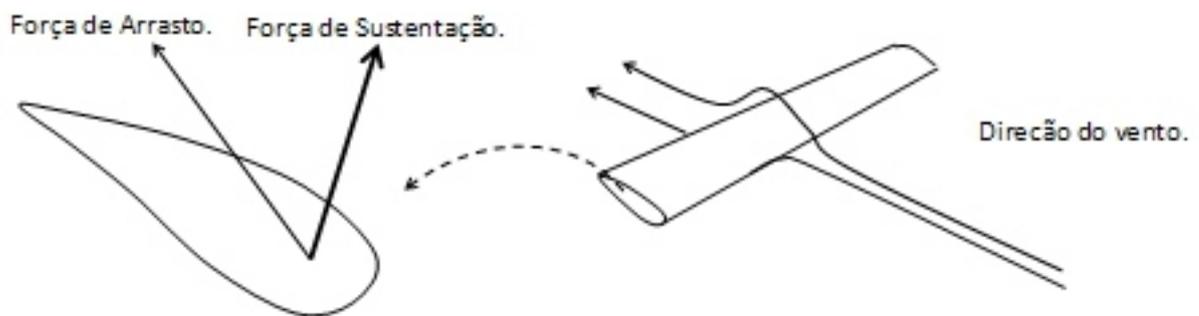
contrariamente ao aumento da potência do rotor. A fim de evitar que o controle estol ocorra em todas as posições radiais das pás ao mesmo tempo (o que acarretaria em uma redução da potência do rotor), as pás são dotadas de uma pequena torção longitudinal que as levam a um suave desenvolvimento do estol. Turbinas que utilizam o controle estol são mais simples do que as de controle de passo, pois essas não necessitam de um sistema de mudança de passo (SANTOS et al., 2006). Os aerogeradores com controle estol, em comparação com os aerogeradores com controle de passo possuem, em princípio,

as seguintes vantagens:

- inexistência de sistema de controle de passo;
- estrutura simples de cubo do rotor;
- menor manutenção, devido a um número menor de peças móveis;
- alta confiabilidade do controle de potência.

A figura 7 mostra as forças de sustentação e arrasto citadas no controle estol.

Figura 7 – Controle Estol (FARIA, 2016).



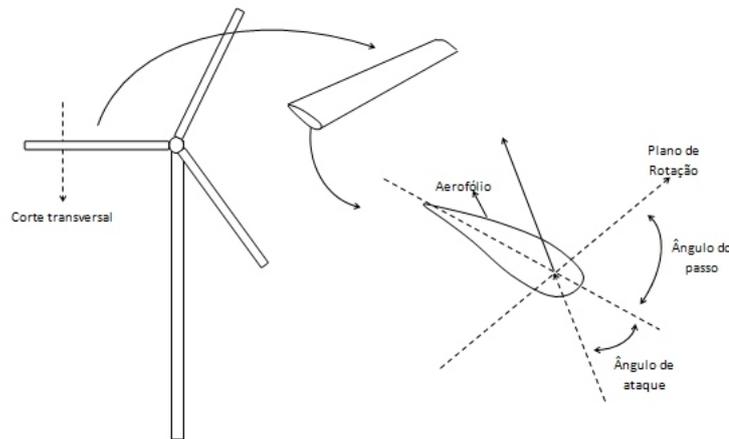
Já o controle de passo, considerado mais moderno, é um sistema ativo que normalmente precisa de uma informação do controlador. Quando a potência nominal do gerador é ultrapassada, devido ao aumento da velocidade de vento, as pás do rotor mudam seu ângulo de passo para reduzir o ângulo de ataque. Tal redução do ângulo de ataque diminui as forças atuantes e, por consequência, a extração de potência. Para velocidades do vento acima da nominal, o ângulo é escolhido de tal forma que a turbina produza somente a potência nominal. Turbinas que utilizam o controle de passo são mais sofisticadas do que as de passo fixo (estol), pois necessitam de um sistema de variação de passo. Por outro lado, elas possuem certas vantagens:

- permitem o controle de potência ativo sob todas as condições de vento;
- alcançam a potência nominal mesmo sob condições de baixa massa específica do ar (grandes altitudes dos sítios, altas temperaturas);
- maior produção de energia sob as mesmas condições (sem diminuição da eficiência na adaptação ao estol da pá);
- partida simples do rotor pela mudança do passo;
- não necessitam de fortes freios para paradas de emergência do rotor;

- cargas das pás do rotor decrescentes com ventos associados a potências acima da nominal;
- posição de embandeiramento das pás do rotor para cargas pequenas em ventos extremos;
- massas das pás do rotor menores levam a massas menores dos aerogeradores.

A figura 8 mostra o ângulo de passo e de ataque citados no controle de passo.

Figura 8 – Controle de passo (FARIA, 2016).



Com um desses dois tipos de controle, é possível resolver os problemas da integração de geradores para a conversão eólica. A variação na velocidade dos ventos é solucionada por ambos os controles, um com ângulo de passo fixo (controle estol) e o outro com sistema de ângulo de passo variável (controle de passo). A variação de torque de entrada é solucionada com o controle de passo, pois este permite um controle de potência ativo sob todas as condições de vento, bem como sob potências intermediárias. A questão da frequência e tensão constantes é resolvida com a utilização de um inversor.

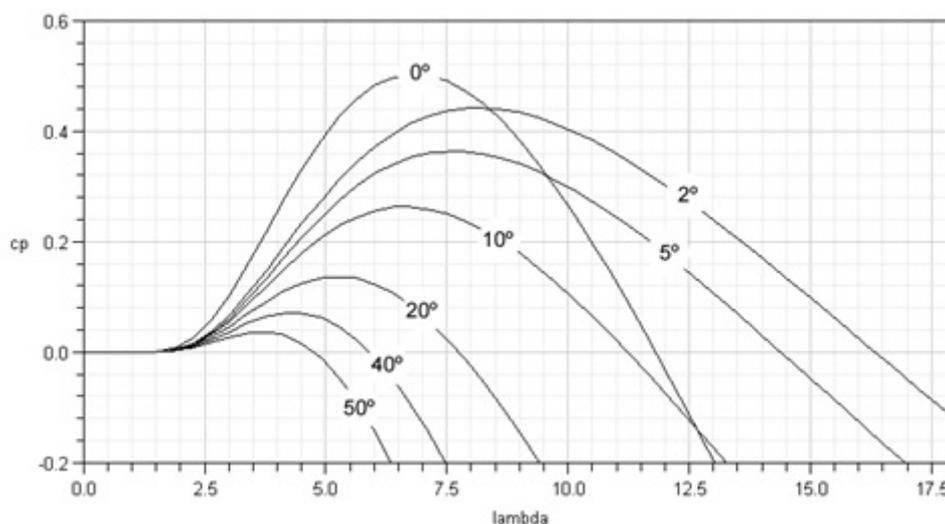
Nos casos de alguns modelos de turbinas o C_p não é constante, e sim função da velocidade de ponta das pás e o ângulo de passo. Logo, a equação 2.1 se transforma na equação 2.2:

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times A_r \times v^3 \times C_p(\lambda, \beta) \times \eta \quad (2.2)$$

Em que λ é a velocidade de ponta das pás e β é o ângulo de passo. A figura 9 mostra a variação do C_p com λ e β . Analisando-se a figura 9 pode se inferir que para um determinado ângulo de passo, variando-se a velocidade de ponta das pás se obtém um valor do coeficiente de potência. Além disso, existe um valor de λ para tal ângulo de passo que determina um valor máximo para o C_p .

A torre tem a função de sustentar e posicionar o rotor na altura projetada. Também é capaz de sustentar o alto peso dos componentes do sistema de geração de energia e ainda

Figura 9 – Curvas do coeficiente de potência em função da velocidade de ponta e o ângulo de passo (BRITO, 2008).



é responsável pela maior parte do custo final da instalação do sistema eólico. No passado, eram utilizadas torres de metal treliçado (material utilizado nas torres que suportam as linhas de transmissão), mas com a evolução para geradores e naceles de maiores dimensões, passou-se a verificar um aumento no peso. Para se adequar a pesos mais elevados, utilizam-se atualmente torres de metal tubular ou de concreto. Existem torres de diversas alturas, para sustentar pás com diversos diâmetros. A figura 10 mostra várias torres com a presença de birutas. As birutas são responsáveis por capturar a direção do vento. Logo, as pás acompanham a direção e sentido do vento de acordo com a biruta.

Figura 10 – Torres em um parque eólico (A Geradora, 2012).



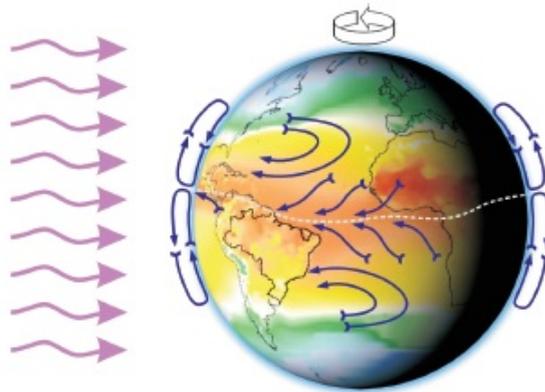
• **Biruta (sensor de direção):** capta a direção do vento. A direção do vento deve sempre estar perpendicular à torre para o maior aproveitamento;

3 Viabilidade Técnica

3.1 Regime dos Ventos

Para avaliação do potencial eólico de determinado local, é necessário o conhecimento prévio do regime de ventos no mesmo e os fatores que o influenciam. O vento é a principal característica da movimentação de ar existente na atmosfera e sua origem está diretamente relacionada às mudanças de pressão do ar, que por sua vez surgem termicamente através da radiação solar e das fases de aquecimento das massas de ar. Os ventos podem ser classificados em globais, de superfície e locais (SANTOS et al., 2006). A figura 11 mostra a distribuição geral dos ventos no planeta.

Figura 11 – Distribuição Geral dos Ventos (AMARANTE et al., 2001).



Os dados de velocidade dos ventos são, normalmente, medidos em um intervalo de tempo de 10 minutos por um aparelho chamado anemômetro. Os anemômetros são posicionados a uma altura mínima de 10 m acima do solo, onde os registros do vento são analisados estatisticamente.

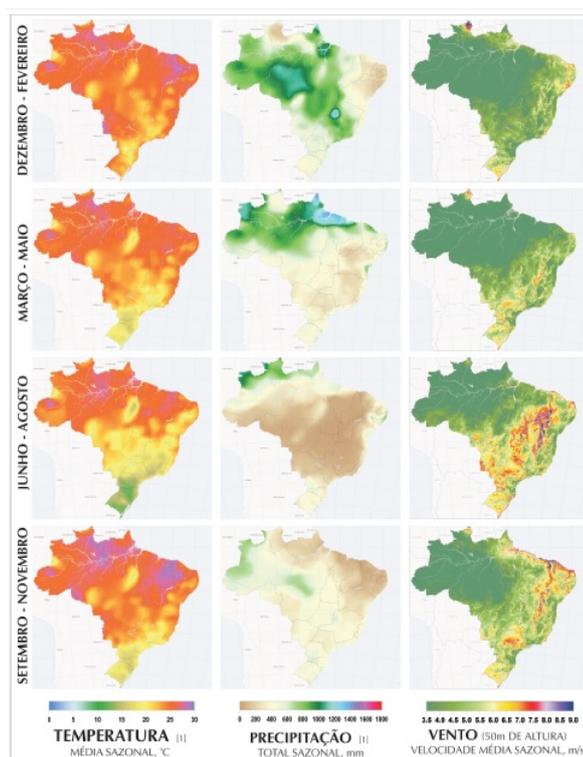
São fatores que influenciam a energia proveniente dos ventos: a densidade do ar e a área de varrimento do rotor. A energia cinética dos ventos depende da densidade do ar; então, quanto mais denso o ar, maior a quantidade de energia receberá a turbina. A área de varrimento do rotor determina a quantidade de energia do vento que a turbina é capaz de captar, ou seja, quanto maior o raio da turbina, maior a captação de energia.

3.2 Potencial Eólico do Brasil

O Brasil apresenta ao longo do território diversas zonas de climas e regimes de circulação atmosférica. O relevo do país é composto por planícies com altitudes médias inferiores a 250 metros e os planaltos com altitude média entre 750 metros e 1000 metros. Aliado aos regimes pluviais, o relevo brasileiro é responsável pelo grande aproveitamento

hidrelétrico como fonte geradora de energia elétrica. Um dos aspectos mais relevantes e positivos no aproveitamento de energia eólica é a complementaridade que esta possui com o regime pluvial do país. A figura 12 apresenta as médias climatológicas sazonais de precipitação e temperatura que ilustram os diferentes tipos de clima e suas sazonalidades. As velocidades médias sazonais de vento (a 50 m de altura) mostram essa complementaridade entre o potencial eólico e hídrico (AMARANTE et al., 2001).

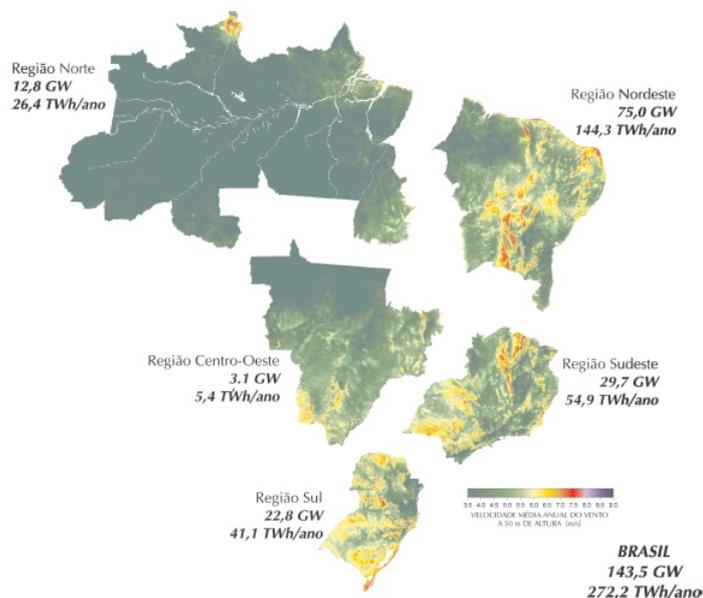
Figura 12 – Médias climatológicas sazonais de temperatura, precipitação e velocidade de vento sobre o Brasil (AMARANTE et al., 2001).



Pode-se observar na figura 12 a complementaridade, principalmente, para o período de dezembro a fevereiro (chuvoso e sem ventos) e para o período de junho a agosto (sem chuvas e com maior intensidade dos ventos). A figura 13 mostra o mapa do potencial eólico no Brasil. Sendo a região nordeste aquela que apresenta o maior potencial eólico entre as regiões brasileiras.

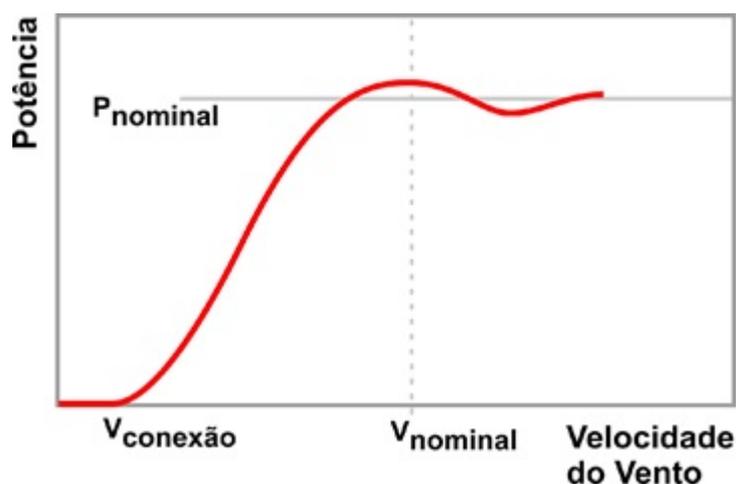
Alguns fatores são extremamente relevantes quando realiza-se análise do potencial eólico de determinado local. São eles: a curva de potência do aerogerador, o fator de capacidade, o fator de disponibilidade e, ainda, as condições topográficas e a rugosidade da superfície. A curva de potência fornece dados sobre a potência elétrica do aerogerador para uma dada velocidade de vento, com uma determinada massa específica do ar, mostrando o rendimento do sistema eólico de acordo com diferentes velocidades dos ventos (FERNANDES, 2012). Para começar a girar e se manter em movimento, o aerogerador precisa de uma potência de vento suficiente para sobrepor o chamado torque de arranque. Após arrancar, a máquina pode precisar de uma velocidade ainda maior para começar a produzir eletricidade, devido ao fato do gerador elétrico necessitar atingir

Figura 13 – Potencial eólico estimado para vento médio anual igual ou superior a 7,0 m/s (AMARANTE et al., 2001).



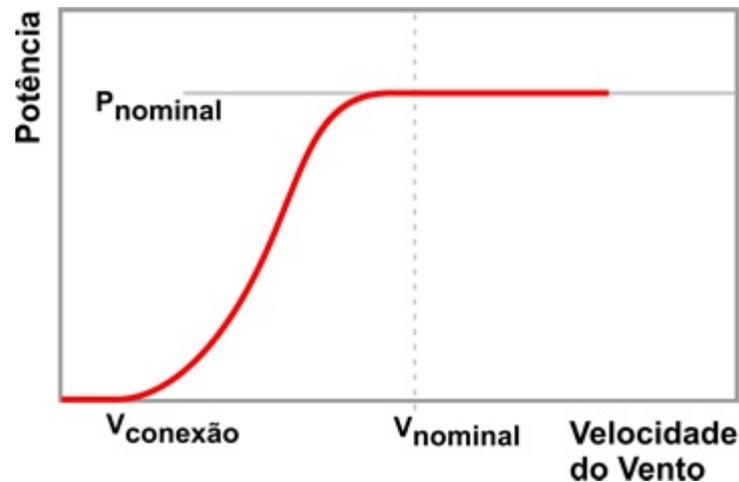
uma rotação mínima. Esta velocidade do vento é conhecida como velocidade de início de geração ou velocidade de partida. A partir da velocidade de partida, a potência produzida pelo aerogerador aumenta até atingir o valor definido como potência nominal, estando o gerador operando em velocidade nominal. Para ventos acima da velocidade nominal os sistemas de controle atuam, afim de extrair somente a potência nominal. As figuras 14 e 15 ilustram esse processo, tanto para o controle estol quanto para o controle de passo.

Figura 14 – Curva de potência típica de um aerogerador com controle tipo estol (BRITO, 2008).



O fator de capacidade é muito importante pois compara a atual produção do sistema eólico, em um dado período de tempo, com a quantidade de energia que esse sistema produziria se estivesse operando com capacidade total para o mesmo período de tempo.

Figura 15 – Curva de potência típica de um aerogerador com controle de passo (BRITO, 2008).



O mesmo pode ser calculado pela relação descrita na equação 3.1:

$$FC = \frac{E_a}{P_N \times T} \quad (3.1)$$

Onde E_a é a energia produzida, P_N é a potência nominal instalada, T o período de tempo e FC o fator de capacidade (EPALANGA et al., 2013).

A variação da velocidade dos ventos está diretamente relacionada com a rugosidade e também com a presença de obstáculos. O ideal seria a instalação em terrenos com baixas rugosidades e sem obstáculos (FERNANDES, 2012). Feita a análise do potencial eólico de um determinada região (dados obtidos no Atlas do Potencial Eólico da região), considerando-se todos os fatores citados, pode-se validar o projeto eólico e partir para a análise econômica-financeira do projeto.

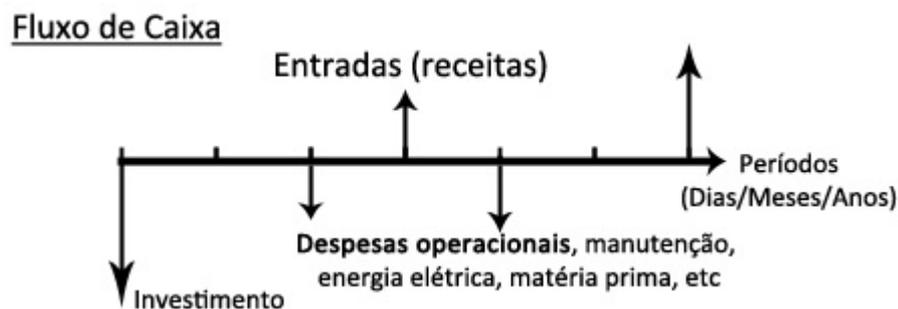
4 Viabilidade Econômico-Financeira

Além da viabilidade técnica, outra análise importante para validação de um projeto de geração de energia eólica é a sua viabilidade econômico-financeira. A razão de realizar-se esse tipo de análise é mostrar a capacidade que um projeto tem de gerar fluxo de caixa, cobrindo seu custo total de investimento e manutenção, assim como diminuir os riscos para o investidor e garantir o retorno de tal investimento. Tal análise, além dos desembolsos, envolve diversas etapas. São elas: a previsão dos fluxos de caixa futuros, a determinação da taxa de desconto para trazer os fluxos de caixa a valor presente (assim como os dispêndios futuros), e por fim o cálculo dos índices determinísticos: VPL (Valor Presente Líquido), a TIR (Taxa Interna de Retorno) e o PAYBACK (Tempo de Retorno do Investimento) (ABREU, 2008).

4.1 Fluxos de Caixa de um Projeto Eólico

O fluxo de caixa de um projeto pode ser definido como todas as entradas e saídas de recursos financeiros do mesmo. Logo, a rentabilidade de um projeto depende diretamente de seu fluxo de caixa futuro. Um modelo muito utilizado atualmente é o de fluxo de caixa descontado. Esse, por sua vez, avalia um determinado investimento a partir da capacidade de geração de fluxos de caixa futuros. Um projeto é considerado bom quando o valor do fluxo de caixa de entradas é maior que o de saídas, ou seja, tem um Fluxo de Caixa Descontado (FCD) positivo. A figura 16 mostra a representação de um fluxo de caixa.

Figura 16 – Representação de um fluxo de caixa.



A tabela 1 mostra a composição dos fluxos de caixa de um projeto eólico ao longo de 20 anos (vida útil do projeto).

4.1.1 Receita Direta Operacional Bruta

Este tipo de receita engloba as relacionadas ao objetivo social do empreendimento. Da receita operacional bruta se deduz os impostos sobre o faturamento (PIS, COFINS e

Tabela 1 – Itens de composição dos fluxos de caixa de um projeto eólico (ABREU, 2008).

Item	Descrição
Entradas	
1	Receita direta operacional bruta e outras receitas operacionais
2	Receitas Indiretas
Saídas	
3	Investimento
4	Despesas operacionais
4.1	- PIS (Programa de Integração Social)
4.2	- COFINS (Contribuição para Financiamento da Seguridade Social)
4.3	- CPMF (Contribuição Provisória sobre Movimentação Financeira)
4.4	- TFSEE (Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica)
5	Custos operacionais
5.1	- Custos fixos de O&M (Operação e Manutenção)
5.2	- Custos variáveis de O&M (Operação e Manutenção)
5.3	- Seguro
5.4	- Encargo na Transmissão
5.5	- Aluguel do Terreno
6	Despesas financeiras
6.1	- Juros sobre o capital de terceiros
7	CSLL (Contribuição Social sobre o Lucro Líquido)
8	Provisão para imposto de renda
9	Amortização do financiamento
Fluxos de caixa:	
10	Entradas - Saídas

CPMF). Logo, a receita líquida é dada pela receita bruta menos os impostos diretos.

4.1.2 Receitas Indiretas

As receitas indiretas são compostas por: receita financeira de aplicação de caixa e a recuperação do capital de giro.

4.1.3 Investimento

O investimento é definido como o montante total investido em um projeto. Para um projeto eólico, existem os gastos, por exemplo, com a aquisição de aerogeradores. Dependendo da capacidade de geração do parque eólico, o investimento pode ser maior ou menor.

4.1.4 Despesas Operacionais

Para se realizar a previsão dos fluxos de caixa é necessário o cálculo das deduções a serem feitas sobre a receita operacional bruta. Tem-se como base de dados os impostos, taxas e as contribuições a seguir: Programa de Integração Social (PIS), atualmente a

alíquota do PIS é de 1.65%; Contribuição para Financiamento da Seguridade Social (COFINS), sendo a alíquota do COFINS, atualmente, de 7.6%; Contribuição Provisória sobre Movimentação Financeira (CPMF)(a CPMF foi extinta em 2008, portanto em projetos atuais não é um imposto considerado); e ainda a Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica (TFSEE) - esta é uma taxa criada para constituir a receita da ANEEL, a fim de cobrir suas despesas administrativa e operacionais (ABREU, 2008).

4.1.5 Custos Operacionais

Esse tipo de custo ocorre durante a vida útil do projeto e pode ser dividido em custos fixos e variáveis. Um exemplo é o custo de Operação e Manutenção, que possui um custo fixo e outro variável. O custo fixo é dado em MMR\$/ano, já o custo variável é dado pelo produto da geração média da usina eólica (MW médio) pelo seu custo variável em R\$/MWh. Há também o custo fixo referente aos encargos de transmissão, no qual o valor é determinado pela Resolução Normativa ANEEL nº 497/2007 (ANEEL, 2016). No caso de empreendimentos eólicos, existe um subsídio de 50% no valor do encargo de transmissão. O seguro por sua vez é considerado com uma parcela fixa anual. Por fim, tem-se o aluguel do terreno onde será construído o parque eólico, que é considerado um custo fixo anual dado em MMR\$ (ABREU, 2008).

4.1.6 Despesas Financeiras

As despesas financeiras representam as remunerações aos capitais de terceiros, sob a forma de juros decorrentes dos financiamentos obtidos. Tais juros podem ser descontados do imposto de renda e da contribuição social sobre o lucro líquido.

4.1.7 Contribuição Social sobre o Lucro Líquido

A Contribuição Social sobre o Lucro Líquido é um imposto cobrado sobre o lucro do empreendimento eólico. Atualmente, o valor desse imposto é de 9% sobre o lucro (FAZENDA, 2016).

4.1.8 Provisão para imposto de renda

Para se realizar o cálculo da provisão do imposto de renda (IR) para um empreendimento eólico, utiliza-se o total do lucro. A tributação sobre o lucro é regulamentada pelos artigos 246 a 515 do Regulamento do Imposto de Renda.

4.1.9 Amortização do financiamento

A amortização refere-se ao pagamento de financiamentos obtidos no mercado financeiro, por exemplo do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico Social (BNDES).

Um método muito utilizado é o Sistema de Amortização Constante (SAC), com amortizações periódicas, constantes, sucessivas e decrescentes em progressão aritmética (PA) de uma dívida (BNDES, 2016).

4.2 Critérios da Análise Determinística

A análise determinística é composta pelo cálculo dos indicadores financeiros que ajudam o investidor no momento de sua tomada de decisão. Tais indicadores são: o VPL, a TIR e o período PAYBACK.

O VPL é definido como a diferença entre os fluxos de entrada e saída de recursos de um projeto na sua data inicial, descontando-se os valores futuros do fluxo de caixa pela taxa de desconto (ou taxa mínima de atratividade - TMA), que mede o custo capital. Em resumo, o VPL faz uma comparação de investimento total no projeto com o valor presente dos fluxos de caixas gerados pelo mesmo. O VPL pode ser representado pela equação 4.1.

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{R_t - C_t}{(1+i)^t} \quad (4.1)$$

Onde R_t é a receita e C_t é o custo nos períodos t do fluxo de caixa, incluindo o investimento e valor residual. A variável n é o tempo de estudo do projeto e i representa a taxa mínima de atratividade ou custo de capital. Se o valor de VPL for maior ou igual a zero, o projeto deve ser aceito, mas se for menor que zero, deve ser rejeitado. O método do VPL apresenta um vantagem interessante, que é considerar o valor do dinheiro no tempo. Entretanto, apresenta a seguinte desvantagem: comparando projetos com diferentes vidas úteis, estes deverão ser nivelados através de um tempo de vida útil comum, por meio da utilização do mínimo múltiplo comum de períodos de tempo (m.m.c), gerando assim a necessidade de um ajuste forçado (EHRlich; MORAES, 2005).

A TIR é a taxa de desconto que anula o VPL do projeto, igualando em certo momento as receitas e os custos previstos. Ela representa o maior custo de oportunidade do capital que o projeto pode suportar, ou seja, a lucratividade do projeto e pode ser definida pela equação 4.2.

$$\sum_{t=0}^n \frac{R_t - C_t}{(1+TIR)^t} = 0 \quad (4.2)$$

Se o valor da TIR for maior ou igual ao valor da TMA, o projeto deve ser aceito, e se for menor o projeto deve ser rejeitado. O método da TIR apresenta algumas vantagens, sendo elas: é expressa em termos percentuais, sendo assim de fácil entendimento; representa a lucratividade mínima de um projeto e pode ser aplicada na comparação de projetos com vidas úteis distintas (EHRlich; MORAES, 2005).

O período de PAYBACK de um projeto é definido como o tempo que os fluxos de caixa gerados pelo projeto levam para cobrir o investimento inicial. Vale ressaltar que esse método utiliza fluxos de caixa nominais do projeto, ou seja, o valor que o dinheiro

possui no tempo não é levado em conta na análise. Esse método é aplicado na tomada de decisão de investimentos através da determinação de um tempo máximo de retorno do investimento para o projeto. Se o período for maior do que o limite estabelecido, o projeto deve ser rejeitado, senão, aceito. É importante ressaltar que o período de PAYBACK não deve ser tomado como parâmetro único de decisão para investimento, mas como um critério secundário ou de desempate (SIMIS, 2010).

4.3 Critérios da Análise de Risco

A análise financeira de projetos é baseada em estimativas para todas as variáveis relevantes. Devido à inexatidão de tais valores, há a grande importância da realização de uma abordagem do risco referente ao retorno econômico-financeiro de um projeto. O risco deve ser entendido como a probabilidade de que o retorno de um projeto seja menor do que o esperado. Quanto mais longa a vida útil do projeto mais necessária é esta análise e existe para o caso de um projeto eólico, ainda, o risco que está associado ao caráter aleatório do regime de ventos. A abordagem de riscos de um projeto eólico envolve dois métodos. São eles: a análise de sensibilidade e a análise de cenários (LAPPONI, 1996).

4.3.1 Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade é a verificação do impacto das variações nos valores de uma certa variável sobre os indicadores financeiros determinísticos de um projeto, determinando os parâmetros aos quais tais indicadores seriam mais sensíveis. A análise de sensibilidade é considerada um procedimento que mostra quanto o VPL mudará devido às variações de uma estimativa de um projeto. Logo, tais variações podem gerar alterações importantes nos valores dos indicadores, podendo assim reverter uma decisão de investimento (LAPPONI, 1996).

4.3.2 Análise de Cenários

A análise de cenários permite a variação simultânea de mais de um parâmetro do projeto, gerando assim novos cenários. O procedimento padrão consiste na análise de três cenários: o cenário base (o mais provável de ocorrer), o cenário otimista e o cenário pessimista. No otimista, os benefícios do cenário base são majorados, enquanto que no pessimista os benefícios são reduzidos em relação ao cenário base. Pode-se gerar cenários, por exemplo, a partir de variações na tarifa de energia, na taxa de câmbio e nos custos de instalação (LAPPONI, 1996).

5 Impacto Ambiental

A energia eólica é uma fonte de energia limpa, abundante e renovável. Um impacto ambiental positivo da mesma é que, por não advir da queima de combustíveis fósseis, não emite poluentes, tais como o dióxido de carbono (CO₂) que contribui para o aquecimento global. No entanto, a energia eólica apresenta alguns impactos negativos a serem considerados: a emissão de ruídos (em decibéis), impacto sobre a fauna e o impacto visual.

5.1 Emissão de Ruídos

A emissão de ruídos provocados pelas turbinas eólicas tem origem mecânica e origem aerodinâmica. A primeira é devido à caixa multiplicadora das turbinas e a segunda é influenciada pela velocidade dos ventos incidentes sobre a turbina. Os geradores mais comuns precisam de alta rotação para o seu funcionamento, por isso a utilização da caixa multiplicadora. A solução para esse problema é o uso de um gerador elétrico multipolo que é conectado diretamente ao eixo das pás. O mesmo opera em baixas rotações, não havendo necessidade da caixa multiplicadora. Com relação à origem aerodinâmica, a solução são pás mais modernas que proporcionam uma maior eficiência e menor emissão de ruídos. O desenvolvimento tecnológico também promove melhorias na aerodinâmica das pás e na mecânica da caixa multiplicadora; dessa forma, diminuindo cada vez mais o impacto ambiental por emissão de ruídos (FILHO; AZEVEDO, 2013).

5.2 Impacto Visual

O impacto visual ainda é um entrave muito relevante na aprovação de empreendimentos eólicos. Atualmente, com as inovações tecnológicas, os parques eólicos são projetados para integração à paisagem. Assim sendo, produzindo um efeito estético mais suave. As turbinas de três pás se movimentam mais lentamente do que as de duas pás, contribuindo assim para a redução de impactos visuais e sonoros. Aliado a isso, os projetistas estão sendo cuidadosos, no sentido de reduzir os efeitos de reflexão da luz solar ou de seu sombreamento pelas pás das turbinas eólicas (FILHO; AZEVEDO, 2013).

5.3 Impacto sobre a Avifauna

Este impacto está associado à morte das aves, causada pela colisão com as pás do rotor. No entanto, acidentes em linhas de transmissão, postes, colisão com veículos, prática de caça predatória são fatores responsáveis por um número bem maior de morte de aves do que os acidentes causados pelas pás da turbina. Sendo assim, um estudo prévio da

rota migratória das aves de uma determinada região pode evitar esse impacto ambiental negativo (FILHO; AZEVEDO, 2013).

6 Estudo da Viabilidade Técnica e Econômico-Financeira de um Projeto Eólico

No presente capítulo, apresenta-se um estudo de caso, que consiste na análise técnica e econômico-financeira de um projeto de geração eólica, considerando os dados de velocidade de vento localizados em Itaparica no estado da Bahia.

O estudo de viabilidade partiu da análise determinística, considerando os parâmetros financeiros e os dados técnicos do projeto para os cálculos dos indicadores financeiros, tais como: VPL, TIR e PAYBACK. A viabilidade foi realizada tendo por base uma tecnologia que ainda não é o estado da arte. Portanto, utilizando um parque eólico com torres com birutas, a eficiência das turbinas aumenta consideravelmente, com consequentes VPL, TIR e Payback mais atrativos.

Esse capítulo mostra as considerações gerais do projeto, sendo elas: detalhes da localização, dados de vento, clima, rugosidade do terreno, apresentação dos parâmetros técnicos e financeiros utilizados no estudo de caso e ainda uma análise do risco eólico. A metodologia utilizada no trabalho é a inserção de todos os dados coletados em tabelas dinâmicas construídas no Excel, para a geração dos resultados determinísticos.

Em resumo, este capítulo tem o objetivo de apresentar com detalhes a análise de viabilidade técnica e econômico-financeira de um projeto eólico localizado em Itaparica no estado da Bahia, com os seus dados específicos.

6.1 Considerações Gerais

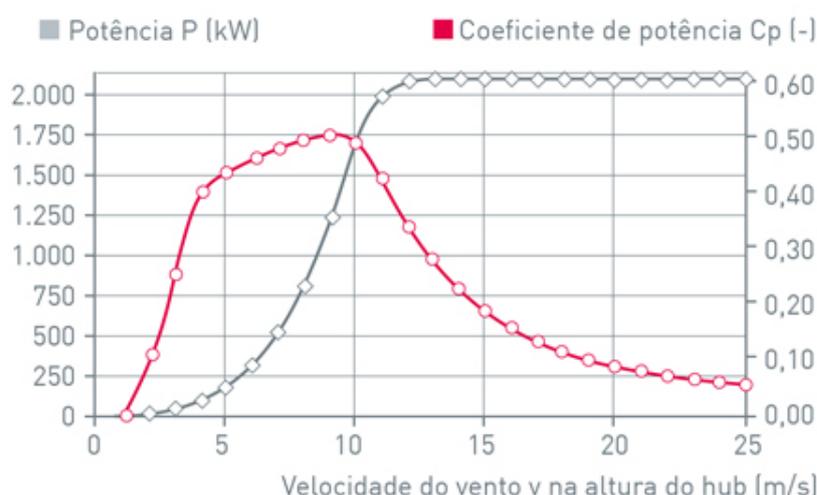
O projeto apresentado nesse capítulo contempla um total de 10 aerogeradores que constituem um parque eólico de 20MW de potência total. Os aerogeradores são do fabricante Enercon e o modelo escolhido foi o E-82. De acordo com o site da Enercon, os aerogeradores E-82 possuem compatibilidade total com as redes das concessionárias brasileiras. O material utilizado nas pás é o Epoxy, com proteção total contra descargas atmosféricas. Os dados técnicos do E-82, de acordo com o site da Enercon são apresentados abaixo:

- $D = 82$ m de diâmetro do rotor;
- $A = 5281 \text{ m}^2$ de área varrida pelas pás;
- Potência = 2 MW (potência nominal);

- C_p = coeficiente de potência, varia de acordo com a curva de potência da turbina;
- $H = 78$ m (altura do eixo do rotor);

Devido à dificuldade de obtenção de informações financeiras do aerogerador por parte dos fabricantes, o valor utilizado como base para o cálculo do investimento inicial foi de 4.2 milhões R\$/MW (SOUZA et al., 2013). A curva de potência do aerogerador E-82 é mostrada na figura 17.

Figura 17 – Curva de potência do aerogerador E-48 (ENERCON, 2016).



A região considerada para o estudo de caso foi Itaparica, localizada no estado da Bahia, com temperatura média local de 23,2°C e densidade do ar de 1.136 kg/m³. De acordo com o Atlas eólico da Bahia, a localidade apresenta uma média de 7.6 m/s de velocidade de vento. A exemplo do litoral nordestino, a cidade de Itaparica apresenta velocidades médias do vento geralmente altas e com pouca variação nas direções (AMARANTE; SILVA, 2001). A tabela 2, apresentada a seguir, mostra os parâmetros utilizados para o cálculo de fluxo de caixa do projeto.

A estrutura de capital do projeto é constituída por 80% de capital de terceiros, financiado pelo BNDES, e 20% de capital próprio. A taxa de juros real considerada foi de 8.5% a.a (7.5% de Taxa de Juros de Longo Prazo (TJLP) e spread de 1%).

O valor de R\$ 160,00 para o preço de comercialização de energia foi obtido com base no último leilão de energia elétrica realizado pela ANEEL. O investimento considera a aquisição de aerogeradores e transformador.

6.2 Análise Determinística do Estudo de Caso

Para realização da análise determinística foram criadas planilhas dinâmicas no Excel (as planilhas são mostradas nos Anexos de A a E), a fim de se obter os valores dos

Tabela 2 – Resumo dos parâmetros utilizados no estudo de caso

Parâmetros	Valor	Unidade
<i>Dados Iniciais</i>		
Ano inicial do investimento	2016	-
Vida útil do projeto	20	Anos
Período de estudo	20	Anos
Quantidade de aerogeradores	10	-
Investimento total	84	Milhões R\$
Custo de capital próprio	10	% a.a
<i>Dados Técnicos</i>		
Potência Total	20	MW
Perdas na Transmissão	2	%
Fator de Disponibilidade	95	%
Preço de Comercialização da Energia	160	R\$/MWh
Fator de Capacidade	42,32	%
Eficiência do parque eólico	87	%
<i>Despesas</i>		
Custos Fixos	1	%
Despesas	0,5	%
<i>Taxas/Impostos</i>		
PIS	1,65	%
COFINS	7,6	%
IR	25	%
CSLL	9	%

indicadores considerados nesse projeto. São eles: VPL, TIR e PAYBACK. A partir do fluxo de caixa do projeto, foram usadas as funções financeiras disponíveis no excel, tais como VP, VPL, TIR, para obtenção dos valores dos indicadores requeridos. A tabela 3 apresentada a seguir mostra o fluxo de caixa e os resultados obtidos através dos cálculos realizados nas planilhas criadas no Excel.

Os itens utilizados na tabela 3 são:

- Preço - preço de comercialização de energia baseado no último leilão realizado pela ANEEL;
- WACC - Custo Médio Ponderado do Capital;
- TUSDg - Taxa de uso do sistema de distribuição;
- Capital de Giro - recurso utilizado para sustentar as operações diárias de uma empresa;
- Delta CG - Diferença do capital de giro do ano seguinte para o anterior;
- PIS/COFINS - Como ao ganhar um leilão, a geradora possui um contrato, esta pode assumir um lucro presumido. O imposto PIS/COFINS sobre tal lucro é de 3.65%;
- Depreciação - corresponde ao encarggo periódico que determinados bens sofrem por uso, desgaste ou obsolescência;
- FCO - Fluxo de Caixa Operacional;
- FC - Fluxo de Caixa

O valor de VPL obtido foi de R\$ 296.000,00, o que significa que o projeto estudado deve ser aceito uma vez que o valor de VPL é positivo. O valor da TIR reforça a aceitação do projeto, já que o o valor obtido de 8.98% é maior do que a taxa mínima de atratividade (TMA) que é 8,8%. O valor de PAYBACK obtido foi de 11 anos.

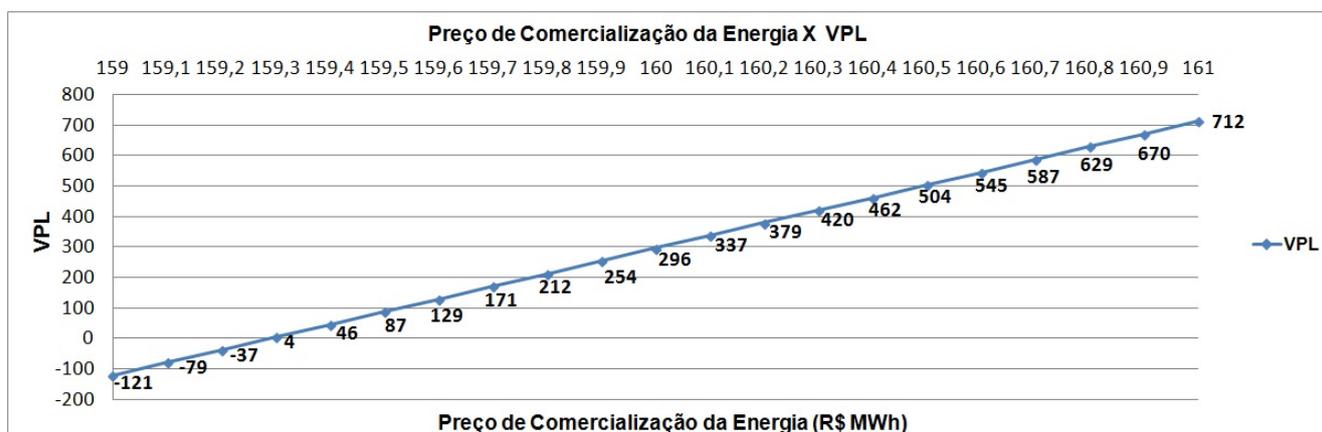
6.3 Análise de Sensibilidade do Estudo de Caso

A análise de sensibilidade realizada sobre o projeto estudado tem o objetivo de testar a sensibilidade frente a variações de alguns parâmetros financeiros determinísticos. São eles: o VPL e a TIR. Os parâmetros financeiros considerados para a análise foram o preço de comercialização da energia e a participação do capital de terceiros. A análise de sensibilidade é realizada variando-se cada parâmetro, individualmente, e mantendo os outros constantes. Assim, é possível verificar o impacto dos parâmetros nos indicadores determinísticos do projeto. A seguir são apresentadas as análises de sensibilidade realizadas para este estudo de caso.

6.3.1 Análise de Sensibilidade do VPL do Projeto

Primeiro, variou-se o preço da comercialização de energia e se manteve os outros parâmetros constantes. A figura 18 apresenta o impacto da variação do preço de comercialização da energia sobre o VPL.

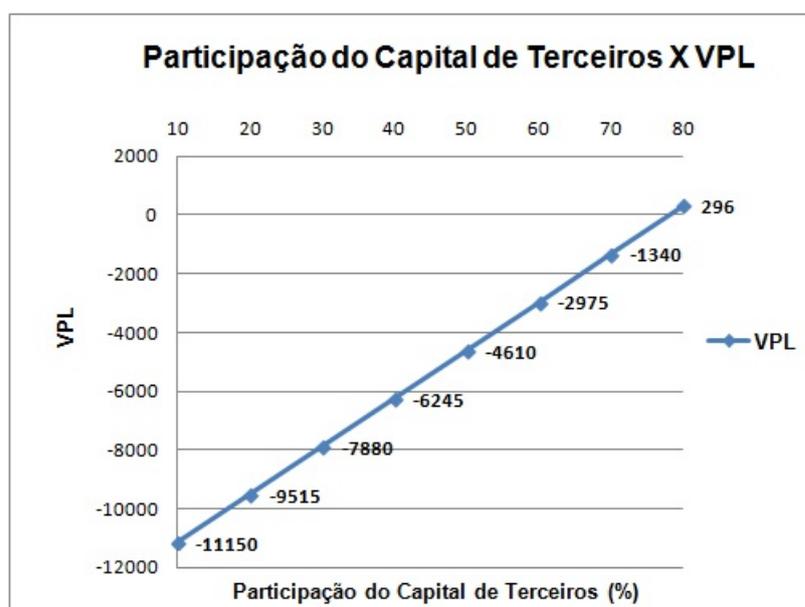
Figura 18 – Sensibilidade do VPL ao preço da comercialização de energia



Pode-se inferir da figura 18 que a partir de um valor de preço da comercialização de R\$ 159.20, o valor de VPL se torna negativo, assim apontando para a rejeição do projeto estudado; não mais aceitação. Quanto maior o preço da comercialização de energia, maior o VPL, e melhor a aceitação do projeto, a partir do valor de R\$ 159.20.

Por fim, foi feita a variação da participação do capital de terceiros mantendo-se os outros parâmetros constantes. A figura 19 apresenta graficamente o impacto da variação da participação do capital de terceiros sobre o VPL.

Figura 19 – Sensibilidade do VPL à participação do capital de terceiros

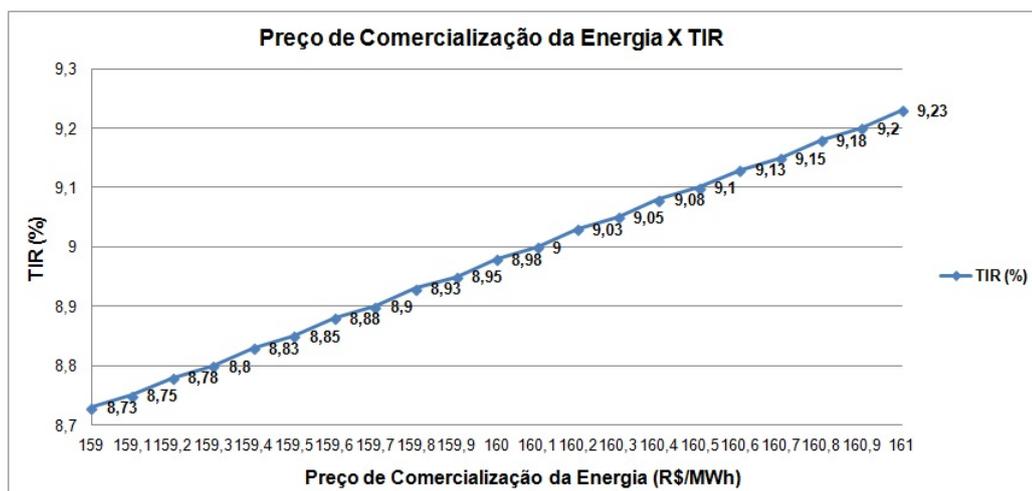


Observa-se, na figura 19, que para uma participação do capital de terceiros abaixo de 80% o valor de VPL se torna negativo, assim apontando para a rejeição do projeto em questão. Para que o projeto estudado seja aceito é preciso que a participação mínima do capital de terceiros seja de 80% do valor total do investimento.

6.3.2 Análise de Sensibilidade da TIR do Projeto

Primeiro, variou-se o preço de comercialização da energia e se manteve os outros parâmetros constantes. A figura 20 mostra graficamente a influência da variação do preço de comercialização da energia sobre a TIR.

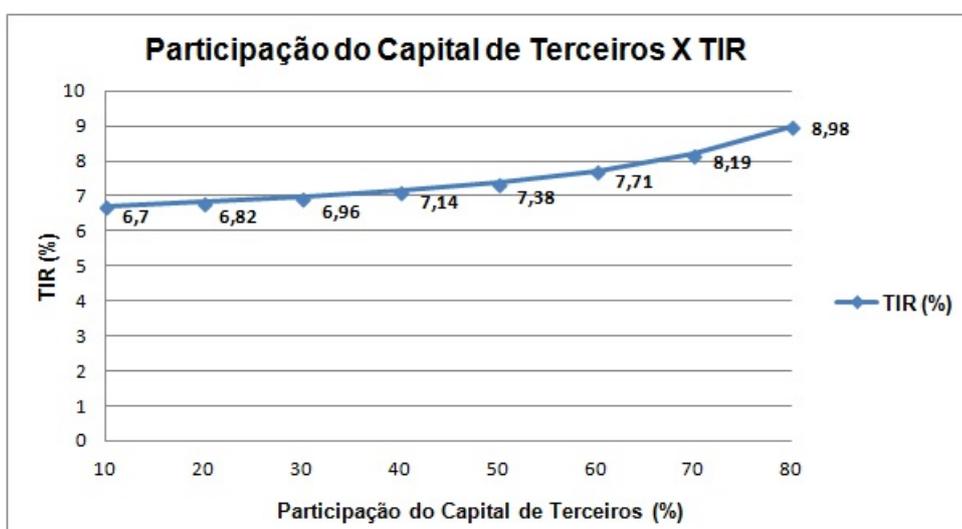
Figura 20 – Sensibilidade da TIR ao preço da comercialização de energia



Nota-se na figura 20 que para valores do preço de comercialização da energia menores que R\$ 159,20, a TIR é menor que a TMA, que no trabalho é igual a 8,8%, levando a rejeição do projeto e não mais à sua aceitação.

Por fim, variou-se a participação capital de terceiros se mantendo constantes os outros parâmetros. A figura 21 apresenta graficamente o impacto da variação da participação do capital de terceiros sobre a TIR.

Figura 21 – Sensibilidade da TIR à participação do capital de terceiros



Pode-se concluir da figura 21 que para valores de participação do capital de terceiros menores que 80%, o valor da TIR é menor que o da TMA, assim levando à rejeição do projeto.

7 Conclusões

O atual cenário do setor energético brasileiro mostra que os investimentos em fontes alternativas de energia é interessante, sendo este o foco deste trabalho. Além da rentabilidade atrativa, a fonte eólica é uma energia renovável, limpa e abundante no Brasil. O preço desse tipo de energia tem diminuído a cada ano, possibilitando assim maiores investimentos e menores custos para os consumidores.

Com o estudo realizado neste trabalho acerca do potencial eólico brasileiro, constatou-se que o país possui um alto potencial eólico, principalmente, na região nordeste do país. Deve-se destacar também a complementariedade da energia eólica com o regime pluvial do Brasil. Uma vez que a maior parte da energia gerada é proveniente de hidrelétricas. Essa por sua vez depende do regime pluvial. Nos meses em que a ocorrência de chuvas é bastante pequena, há uma intensidade maior de ventos e vice-versa.

Para viabilizar um projeto de geração eólica são necessárias três tipos de análises, a técnica, a econômico-financeira e a ambiental. A análise técnica envolve algumas etapas: análise do histórico de ventos do local, velocidade média dos ventos, condições topográficas, etc. Após essa análise, ocorre a escolha do tipo de aerogerador e do número desses equipamentos necessário para suprir a geração de energia, de acordo com a potência que se pretende gerar. Alguns outros fatores do aerogerador são avaliados para a análise técnica. Como, a curva de potência do aerogerador, o fator de disponibilidade e o fator de capacidade. A análise econômico-financeira engloba todos os cálculos financeiros para a análise da lucratividade do projeto. No presente trabalho, foram utilizados os indicadores VPL, TIR e PAYBACK para a tomada de decisão de aceitar ou não o projeto estudado. Por fim, a análise ambiental é realizada para verificar se o projeto segue as exigências ambientais requeridas para um empreendimento eólico. Os impactos considerados são: ruídos, impacto visual e o impacto sobre a avifauna.

O estudo de caso do trabalho foi a verificação da viabilidade técnica e econômico-financeira da implantação de um parque eólico na região de Itaparica no estado da Bahia. Seguindo as premissas das análises descritas ao longo deste trabalho, chegou-se à decisão de aceitação do projeto em questão. Para tomar esta decisão, foram utilizados os resultados do VPL e da TIR, gerados a partir de planilhas dinâmicas criadas no software Excel. A viabilização do projeto só foi possível porque o valor de VPL é positivo e a TIR maior do que a TMA. Uma análise muito importante também foi realizada: a análise de sensibilidade. Tal análise serviu para mostrar o comportamento dos indicadores financeiros, VPL e TIR, frente à variação de alguns parâmetros.

Algumas dificuldades foram encontradas ao longo do trabalho, tais como: pouco conhecimento do software Excel e dificuldade para obter informações financeiras com os fabricantes de aerogeradores.

Algumas sugestões para trabalhos futuros são: estudo do sentido das velocidades do vento; aproveitamento ótimo dos sentidos do vento e posicionamento das pás de modo diferente nas diversas torres em um parque eólico.

Referências

- A Geradora. *A GERADORA-POLISERVICE PARTICIPA DE INAUGURAÇÃO DA USINA EÓLICA RENOVA ENERGIA, NA BAHIA*. 2012. Disponível em: <<http://www.ageradora.com.br/geradora-poliservice-participa-de-inauguracao-da-usina-eolica-renova-energia-na-bahia/>>. Acesso em: 17/02/2016.
- ABREU, V. Brasil de. Análise da viabilidade econômico-financeira da energia eólica diante do novo contexto do setor elétrico. Universidade Federal de Pernambuco, 2008.
- AMARANTE, O. A. et al. Atlas do potencial eólico brasileiro. In: *Atlas do potencial eólico brasileiro*. [S.l.]: Ministerio de Minas e Energia - Eletrobras, 2001.
- AMARANTE, O. d.; SILVA, F. d. Atlas do potencial eólico do estado da bahia. *Camargo Schubert Engenharia Eólica, COELBA/Iberdrola Empreendimentos do Brasil*, p. 61, 2001.
- ANEEL. 2016. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 16/05/2016).
- ARAÚJO, M. S. M. de; FREITAS, M. A. V. de. Acceptance of renewable energy innovation in brazil:case study of wind energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 12, n. 2, p. 584–591, 2008.
- BNDES. 2016. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/>>. Acesso em: 16/05/2016).
- BRITO, C. C. de Referência para Energia Solar e E. S. *Tipos de Aerogeradores para Geração de Energia Elétrica*. 2008. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com.content&lang=pt&cid=231>>. Acesso em: 04/04/2016.
- Caminho Sustentável. *Emissões na matriz elétrica brasileira cresceram em 2013*. 2014. Disponível em: <<http://www.caminhosustentavel.net.br/wp-content/uploads/2014/08/graficoepe1.jpg>>. Acesso em: 16/02/2016.
- Centro de Energia Eólica- PUCRS. *Centro de Energia Eólica - PUCRS*. 2015. Disponível em: <<http://www.pucrs.br/ce-eolica/faq.php?q=10>>.
- Dinâmica Ambiental. *Confira como funciona a turbina eólica de eixo vertical*. 2015. Disponível em: <<http://www.dinamicambiental.com.br/blog/sustentabilidade/confira-funciona-turbina-eolica-eixo-vertical/>>. Acesso em: 16/02/2016.
- DUTRA, R. Energia eólica–princípios e tecnologia. *Rio de Janeiro: Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Britto*, 2008.
- EHRlich, P. J.; MORAES, E. A. de. *Engenharia econômica: avaliação e seleção de projetos de investimento*. [S.l.]: Atlas, 2005.
- ENERCON, W. W. 2016. Disponível em: <<http://www.wobben.com.br/produtos/produzidos-no-brasil/e-48-800-kw/>>. Acesso em: 07/05/2016.
- EPALANGA, O. Â. S. et al. Energia eólica-viabilidade técnica de projeto eólico na região de urubici. 2013.

- EPE. *Empresa de Pesquisa Energética*. 2016. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/>. Acesso em: 16/05/2016).
- FARIA, C. *Controladores (Energia Eólica)*. 2016. Disponível em: <http://www.infoescola.com/tecnologia/controladores-energia-eolica/>. Acesso em: 04/04/2016.
- FAZENDA, R. da. 2016. Disponível em: <http://idg.receita.fazenda.gov.br/>.
- FERNANDES, G. A. A. Estudo de viabilidade técnico econômico para instalação de um sistema eólico. 2012.
- FILHO, W. P. B.; AZEVEDO, A. C. S. de. Impactos ambientais em usinas eólicas. 2013.
- JÚNIOR, M.; DELGADO, F. Viabilidade técnica/econômica para produção de energia eólica, em grande escala, no nordeste brasileiro. 2014.
- LAPPONI, J. C. *Avaliação de projetos de investimento: modelos em Excel*. [S.l.]: Lapponi treinamento, 1996.
- LIMA, L. de A.; FILHO, C. R. B. Wind resource evaluation in sao joao do cariri (sjc)–paraiba, brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 16, n. 1, p. 474–480, 2012.
- Metalurgia das Letras. *No Title*. 2011. Disponível em: <http://metalurgiadasleytras.blogspot.com.br/2011/08/moinhos-de-vento.html>.
- ONS. 2016. Disponível em: <http://www.ons.org.br/home/>. Acesso em: 16/05/2016).
- REDAÇÃO ASSIMQUEFAZ. *Energia Solar*. 2015. Disponível em: <http://www.assimquefaz.com/ver-tutorial/energia-solar>. Acesso em: 25/02/2016.
- SANTOS, A. et al. Projeto de geração de energia eólica. *Projeto de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica. Universidade de Santa Cecília. Santos, SP*, 2006.
- SIMIS, A. Análise de viabilidade econômica de projetos de geração eólica no brasil. 2010.
- SOUZA, G. H. Silva de et al. Marketing approach of brazilian wind energy sector. *Journal of technology management & innovation*, SciELO Chile, v. 8, n. 4, p. 46–58, 2013.
- Universidade do Minho. *Constituição de uma turbina eólica horizontal (TEH)*. 2015. Disponível em: <http://microeolica.weebly.com/constituiccedilatildeo-de-uma-teh.html>. Acesso em: 16/02/2016.

ANEXO A – Planilha Energia

ANO	Investimento Inicial (R\$ Mil)	Disponibilidade no ACR	Fator de Capacidade
2019	84.000		0,4232
2020		71.179	
2021		71.179	
2022		71.179	
2023		71.179	
2024		71.179	
2025		71.179	
2026		71.179	
2027		71.179	
2028		71.179	
2029		71.179	
2030		71.179	
2031		71.179	
2032		71.179	
2032		71.179	
2033		71.179	
2034		71.179	
2035		71.179	
2036		71.179	
2037		71.179	
2038		71.179	

Dados Técnicos da Usina Eólica	
P_n (MW)	20
$E_{n\text{ anual}}$ (MWH)	175.200
Manutenções (2%)	3.504
Perdas Elétricas Internas (2%)	3.504
$E_{\text{ anual}}$ (MWH)	168.192
$MW_{\text{ médio}}$	19,20
$E_{\text{ mensal}}$ (MWh)	14.016
ACR (MWh)	117.734
ACR ($Mw_{\text{ médio}}$)	13,44

ANEXO B – Planilha VPL e TIR

1,0880	TMA			
8,80%	Ano	FC	VP das Saídas	VP das Entradas
	0	-17.369	-17.369	
	1	709		651
	2	897		758
	3	1.086		843
	4	1.274		909
	5	1.463		959
	6	1.651		995
	7	1.840		1019
	8	2.028		1033
	9	2.217		1038
	10	2.405		1035
	11	2.268		897
	12	2.456		893
	13	2.645		884
	14	2.833		870
	15	3.022		853
	16	3.210		833
	17	3.399		810
	18	3.587		786
	19	3.776		760
	20	4.534		839
	Total	29.929	-17.369	17.665
			VPL	296
			TIR	9%

ANEXO C – Planilha PAYBACK

1,0880	TMA				
8,80%	Ano	FC	VP das Saídas	VP das Entradas	Valor Acumulado
	0	-17.369	-17.369		-17369
	1	709		651	-16661
	2	897		758	-15764
	3	1.086		843	-14678
	4	1.274		909	-13404
	5	1.463		959	-11941
	6	1.651		995	-10290
	7	1.840		1.019	-8451
	8	2.028		1.033	-6423
	9	2.217		1.038	-4206
	10	2.405		1.035	-1801
	11	2.268		897	467
	12	2.456		893	2923
	13	2.645		884	5568
	14	2.833		870	7934
	15	3.022		853	11423
	16	3.210		833	14633
	17	3.399		810	18032
	18	3.587		786	21619
	19	3.776		760	25395
	20	4.534		839	29929
	Total	29.929	-17.369	17.665	
				296	

ANEXO D – Planilha Sensibilidade do VPL

Sensibilidade do VPL ao Preço de Comercialização de Energia	
Preço da Energia R\$/MWh	VPL
159	-121
159,1	-79
159,2	-37
159,3	4
159,4	46
159,5	87
159,6	129
159,7	171
159,8	212
159,9	254
160	296
160,1	337
160,2	379
160,3	420
160,4	462
160,5	504
160,6	545
160,7	587
160,8	629
160,9	670
161	712
Sensibilidade do VPL à Participação do Capital de Terceiros	
Capital de Terceiros (%)	VPL
80	296
70	-1340
60	-2975
50	-4610
40	-6245
30	-7880
20	-9515
10	-11150

ANEXO E – Planilha Sensibilidade da TIR

Sensibilidade da TIR ao Preço de Comercialização de Energia	
Preço da Energia R\$/MWh	TIR (%)
159	8,73
159,1	8,75
159,2	8,78
159,3	8,8
159,4	8,83
159,5	8,85
159,6	8,88
159,7	8,9
159,8	8,93
159,9	8,95
160	8,98
160,1	9
160,2	9,03
160,3	9,05
160,4	9,08
160,5	9,1
160,6	9,13
160,7	9,15
160,8	9,18
160,9	9,2
161	9,23
Sensibilidade da TIR à Participação do Capital de Terceiros	
Capital de Terceiros (%)	TIR (%)
80	8,98
70	8,19
60	7,71
50	7,38
40	7,14
30	6,96
20	6,82
10	6,7