

# A VIABILIDADE ECÔNOMICO-FINANCEIRA DE UM PROJETO EÓLICO SOB A PERSPECTIVA DO INVESTIDOR

ECONOMIC AND FINANTIAL FEASIBILITY OF A WIND POWER  
PROJECT FROM THE INVESTOR PERSPECTIVE

Virgínia Brasil de Abreu <sup>1</sup>  
Marcos Roberto Gois de Oliveira <sup>2</sup>

## RESUMO

O presente trabalho propõe analisar a viabilidade econômico-financeira de um projeto eólico hipotético localizado em Itaparica. O Brasil apresenta um enorme potencial eólico, especialmente na região Nordeste, onde diversos empreendimentos eólicos já foram implantados devido às condições de vento favoráveis da região. Entretanto, para fomentar a geração eólica é necessário que sejam feitos estudos de viabilidade técnica e principalmente de viabilidade econômico-financeira, porque os investidores precisam de subsídios confiáveis para a tomada de decisão. No caso de um empreendimento eólico, dado o caráter sazonal do regime de ventos, se faz necessário lidar com as incertezas associadas ao projeto através da Simulação de Monte Carlo, que estima valores esperados dos indicadores financeiros. Dessa forma, é incorporado na análise de viabilidade o caráter aleatório do regime dos ventos, sendo possível aferir até que ponto as oscilações das velocidades de vento irão influir nos fluxos de caixa futuros do projeto eólico, o denominado risco eólico.

**Palavras-chave:** Viabilidade Econômico-financeira. Energia Eólica. Risco Eólico. Simulação de Monte Carlo. Análise de Sensibilidade.

## ABSTRACT

This work intends to analyze the economical-financial viability of a hypothetical project of a wind power plant located in Itaparica. Brazil presents in enormous wind power potential, especially in the northeast region, where several Wind turbines were already implanted. However, to promote wind power generation it is necessary to make studies of technical viability and mainly of economical-financial viability, after all the investors need reliable subsidies for decision making. In the case of an wind power plant enterprise, given the seasonal characteristic of the wind behavior, it's necessary to work with the uncertainties associated to the project through Monte Carlo's Simulation, that estimate the expected values of the financial indicators. So, the random characteristic of the wind is incorporated in the viability analysis, being possible to verify to what extent the oscillations of the Wind speeds will influence on the future cash flows of the project, the so-called wind risk. The calculated results, in the case study, indicated the rejection of the Wind energy project hypothetically of Itaparica. It is worth emphasizing that the case study exposed in this work, it intends to promote new studies for the improvement of the analyses of viability of projects of wind energy generation.

**Keywords:** Economical-financial Viability. Wind Power. Wind Risk. Monte Carlo Simulation. Sensibility Analysis.

<sup>1</sup> Mestre em Economia. Administradora da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF). E-mail: virginia@chesf.gov.br.

<sup>2</sup> Doutor em Economia e Mestre em Administração. Professor Adjunto do Departamento de Ciências Administrativas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). E-mail: mrgois@hotmail.com.

## INTRODUÇÃO

O Brasil a despeito do enorme potencial hidrelétrico está procurando acompanhar a tendência mundial para o uso da energia eólica. Entretanto, mais do que simplesmente atender as questões ambientalistas ou diversificar a matriz energética, para a efetiva utilização do potencial eólico brasileiro, se faz necessário realizar um estudo acerca da sua viabilidade técnica e econômica. A forma mais eficaz de se sensibilizar quanto à aplicabilidade da energia eólica é torná-la mais competitiva, daí a importância da análise de sua viabilidade econômica frente ao novo contexto do setor elétrico.

O modelo proposto neste trabalho tem como base uma série histórica de dados de vento e a curva de potência da turbina eólica, utilizados como dados de entrada (“*input*”) para a aplicação no *software* Anafin, que gera resultados com a saída dos dados (“*output*”).

O Anafin é uma ferramenta que permite mensurar o grau de viabilidade de um projeto de investimento, mediante a aplicação de parâmetros técnicos e financeiros. Entretanto, vai muito além da simples análise determinística, permitindo uma abordagem de risco com a aplicação do Método de Simulação de Monte Carlo, que, por sua vez, envolve os diversos fatores de risco e os mensura.

Diante do contexto atual do setor elétrico brasileiro e a necessidade de se diversificar a matriz energética, está sendo crescente o interesse acerca de outras fontes de geração de energia. O reflexo disso encontra-se nos diversos trabalhos que envolvem estudos de viabilidade, tais como:

- Bittencourt (2005) procurou demonstrar na sua dissertação, através de estudos determinísticos e probabilísticos, quais os melhores níveis de venda de energia, no longo e curto prazo. São criados cenários esperados de expansão da geração e da demanda, sendo definidos o montante e preço de energia de uma termelétrica a serem ofertados em licitações, que melhor remunerem o empreendedor. O objetivo geral foi o de realizar a análise de viabilidade econômico-financeira para implantação de uma usina termelétrica a gás natural de 500 MW de potência instalada. Essa dissertação utiliza o *software* Anafin versão 3.5, para gerar os resultados determinísticos e probabilísticos, permitindo a análise do investimento.
- Salles (2004) teve como propósito de sua dissertação a aplicação de duas metodologias de análise financeira de projetos de geração eólica

que permitiram agregar as incertezas associadas à velocidade do vento. A primeira baseia-se na Simulação de Monte Carlo (SMC) e a segunda no método de séries temporais de Box e Jenkins (B&J). A autora utilizou na sua metodologia os *softwares* Anafin e E-views. Na SMC são sorteados valores de velocidade de vento a partir da distribuição de frequência da série observada. O método B&J assume que a estrutura de dependência da série de ventos é formada a partir da combinação dos modelos autorregressivo e média móvel. Ambos os métodos serviriam para gerar séries sintéticas para a análise financeira de projetos eólicos.

- Nascimento (2005) discorre ao longo da dissertação, conceitos importantes para o entendimento da geração eólica, tais como: o regime dos ventos, as partes componentes de um sistema eólico, o seu funcionamento e as suas limitações, de modo a se entender de que forma os ventos são aproveitados como fonte de energia elétrica. Também são mostrados os tratamentos estatísticos utilizados para o estudo do aproveitamento dos ventos e os cálculos de energia gerada. O tema central envolve o impacto de centrais eólicas no mercado de energia elétrica.

- Bertagnolli et al. (2006) referem-se ao trabalho realizado por bolsistas do laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria em 2006. O objetivo desse trabalho foi avaliar o potencial eólico na região Sul do Brasil, com a característica de que o referido trabalho possui um enfoque notadamente técnico em detrimento de uma análise da viabilidade econômico-financeira.

Este trabalho tem como principal objetivo realizar uma análise da viabilidade econômico-financeira da energia eólica diante do novo contexto do Setor Elétrico Brasileiro. Dessa forma, ressaltar a importância de se investir numa fonte de energia limpa e inesgotável como vantagem competitiva diante dos novos desafios.

O trabalho está dividido em quatro partes, além desta introdução; a primeira apresenta as técnicas de análise de viabilidade econômico-financeira baseada nos fluxos de caixa e a apresentação dos parâmetros de um projeto eólico fundamentais para a análise de viabilidade. O capítulo subsequente dedica-se à metodologia utilizada. O capítulo três relaciona os resultados determinísticos e o quarto capítulo contempla a análise de risco. Por fim, são apresentadas as conclusões do trabalho.

## 1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 1.1 A ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA

A análise econômico-financeira de um projeto envolve diversas etapas, tais como: a previsão dos fluxos de caixa futuros esperados; a determinação da taxa de desconto (custo de oportunidade do capital), para descontar os fluxos de caixa futuros esperados; e finalmente, o cálculo dos índices determinísticos, que em síntese seriam: VPL (Valor Presente Líquido) do fluxo de caixa futuro esperado, TIR (Taxa Interna de Retorno), TEQ (Tarifa de Equilíbrio) e INVEQ (Investimento de Equilíbrio). De acordo com Cepel (2006), a razão de ser da análise do risco eólico está em verificar o impacto da aleatoriedade do vento no fluxo de caixa do projeto. Por isso, é necessária a geração de séries sintéticas de velocidade de vento diferentes da série histórica (que são dados passados diários de velocidade de ventos medidos por anemômetros), mediante a aplicação do método de Simulação de Monte Carlo (SMC).

Segundo Gitman (2001), o fluxo de caixa é considerado a “espinha dorsal” de uma empresa, porque representa todas as entradas e saídas de recursos financeiros. No que diz respeito à análise de projeto, a sua rentabilidade irá depender de seu fluxo de caixa futuro.

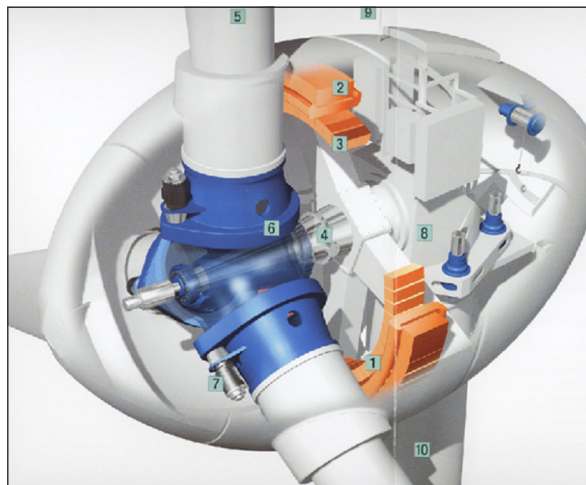
Neste trabalho, o fluxo de caixa do projeto eólico foi discretizado de forma anual sob a perspectiva do investidor, dessa forma, o investimento inicial ocorre no período zero e todos os demais fluxos ao início de cada ano subsequente durante a vida útil (neste caso serão considerados 20 anos para projetos eólicos). De acordo com Cepel (2006), o fluxo de caixa calculado sob a perspectiva do investidor permite verificar se o projeto a partir de uma determinada estrutura de financiamento irá remunerar o capital investido.

Resumidamente, de acordo com Bordeaux-Rego (2006), o fluxo de caixa descontado (FCD) é o método mais utilizado para a análise de investimentos, dependendo da projeção dos fluxos futuros e da determinação da taxa de desconto. Ainda segundo o autor, os fluxos de caixa são alocados há um instante no tempo com capitalização ao final do período.

### 1.2 OS PARÂMETROS DA ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA DO PROJETO

O projeto hipotético contempla um total de 125 aerogeradores, que constituem o parque eólico de 100 MW de potência total. Os aerogeradores são do fabricante “Enercon”, o modelo escolhido foi o E-48 (48m de diâmetro de rotor e 800 KW de potência por cada máquina).

De acordo com o “site” da “Enercon”, os aerogeradores “Wobben/Enercon” E-48 possuem compatibilidade total comprovada no Brasil com as redes das concessionárias, onde os aerogeradores estão interligados sem gerar perturbações nessas redes. Além disso, os aerogeradores também atendem aos índices de nacionalização exigidos no PROINFA<sup>3</sup>. Seguem, abaixo, a Figura 1 que representa os componentes de um aerogerador e a Figura 2, ilustrando turbinas de eixo horizontal de três pás em operação.



Legenda: (1) Gerador, (2) Estator do Gerador, (3) Rotor do Gerador, (4) Eixo Principal, (5) Pás do Rotor, (6) Bosso, (7) Controle do Passo, (8) Mecanismo de Orientação, (9) Anemômetro, (10) Torre

Figura 1 - Componentes de um aerogerador sem caixa de transmissão  
Fonte: Enercon (2006)



Figura 2 - Turbinas de Eixo Horizontal com três pás  
Fonte: www.windpower.org

<sup>3</sup> PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

A região considerada para o estudo de caso foi o Município de Itaparica no Estado da Bahia com temperatura média local de 23,2°C, densidade do ar de 1,136 kg/m<sup>3</sup> (correspondente à temperatura) e comprimento de rugosidade de 0,03m (Zo). Itaparica apresenta uma média de 7,6 m/s de velocidade de vento, o conhecimento da velocidade média do vento é importante para avaliar o potencial eólico da região e estimar a energia gerada.

O parque eólico hipotético de Itaparica apresenta 100.000 kW de potência instalada, apresentando um investimento na ordem de R\$357.920.000,00. Neste trabalho, foi adotada a premissa de que o preço da energia eólica contratada seria de R\$212,00/MWh, que está dentro do intervalo da consulta pública da Aneel (Agência Nacional de Energia Elétrica) feita em 2007 (com valores entre os patamares de R\$204,35/ MWh a R\$231,00 /MWh para a geração eólica).

A série histórica de Itaparica foi medida pelo “Data Logger”, com intervalos de 10 em 10 minutos, num horizonte de tempo de 01 ano. Resumidamente, para o cálculo do fluxo de caixa do projeto eólico hipotético de Itaparica, foram considerados os seguintes parâmetros, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros utilizados no estudo de caso

PARÂMETROS	UNIDADE	VALOR
<b>Dados Iniciais</b>		
- Ano inicial do Investimento	-	2007
- Vida útil do Projeto	Anos	20
- Período de estudo	Anos	20
- Número de Aerogeradores	-	125
- Investimento total	Milhões R\$	357,920
- Taxa de Câmbio	R\$ / US\$	1,79
- Custo de capital próprio	% a.a	12,00
<b>Dados Técnicos</b>		
- Potência Total	MW	100,00
- Perdas na Transmissão	%	2
- Fator de Disponibilidade	%	95,00
- Preço da Energia Contratada	R\$/MWh	212,00
- Fator de Capacidade (*)	%	31,40
- Eficiência do parque eólico (*)	%	86,80
<b>Despesas</b>		
- O&M Variável	R\$/MWh	16,200
- O&M Fixo	Milhões R\$ / ano	1,440
- Aluguel do Terreno	Milhões R\$ / ano	1,0
- Fiscalização	% a.a	0,50
- Benefício Econômico	R\$/KW.ano	289,22
- Seguros	Milhões R\$ / ano	0,40
- Encargos de Transmissão	R\$/KW.ano	35,65
<b>Taxas / Impostos</b>		
- PIS	%	1,65
- COFINS	%	7,60
- CPMF	%	0,38
- Contribuição Social	%	9,00

(\*) Dados calculados mediante o emprego do Windpro  
Fonte: Elaboração própria

Na sequência apresenta-se a metodologia que dá suporte a este estudo.

## 2 METODOLOGIA

O procedimento do estudo de caso teve como base uma série histórica de dados de vento e a curva de potência da turbina eólica, ou seja, dados de entrada (“INPUT”) para a aplicação no *software* Anafin, que irá

gerar resultados com a saída dos dados (“OUTPUT”). O Programa Anafin, versão 3.6, foi desenvolvido em linguagem Fortran<sup>4</sup> com interface gráfica para o ambiente “windows”, o referido “software” foi desenvolvido pelo Cepel (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica) em parceria com a Eletrobrás. O Anafin foi criado com a finalidade de auxiliar na tomada de decisão de investimentos em projetos de geração de energia, já adaptados às condições vigentes do novo contexto do setor elétrico brasileiro. O modelo atende à demanda por ferramentas que possam, com eficiência, avaliar o grau de atratividade dos investimentos, contemplando diferentes riscos envolvidos dado o caráter sazonal dos ventos.

É importante obter um modelo estocástico que será capaz de descrever as relações entre as variâncias e covariâncias das observações da série de dados de vento de Itaparica, considerando o caráter aleatório dessa série histórica, de forma a capturar o fator risco inerente ao caráter sazonal do regime dos ventos. A criação desse modelo será possível mediante o emprego do Anafin versão 3.6, o referido “software” permite avaliar projetos de transmissão e geração de energia elétrica, incluindo: usinas hidráulicas, térmicas, eólicas e de biomassa, caracterizando-o como um modelo computacional para a análise de risco financeiro.

De acordo com Cepel (2006), o Anafin é uma ferramenta que permite mensurar o grau de viabilidade de um projeto de investimento, mediante a aplicação de parâmetros técnicos e financeiros, tais como: custos iniciais, fator de capacidade, fator de disponibilidade, condições de financiamento, custos de O&M (Operação e Manutenção) de equipamentos, vida útil do projeto etc. Entretanto, vai muito além da simples análise determinística, permitindo uma abordagem de risco com a aplicação do Método de Simulação de Monte Carlo, que por sua vez, irá envolver os diversos fatores de risco e mensurá-los. Com a análise de risco poder-se-ia alcançar um modelo mais consistente, capaz de capturar o caráter estocástico da base de dados estudada (série de ventos de Itaparica) e realizar a análise de risco inerente a um empreendimento eólico.

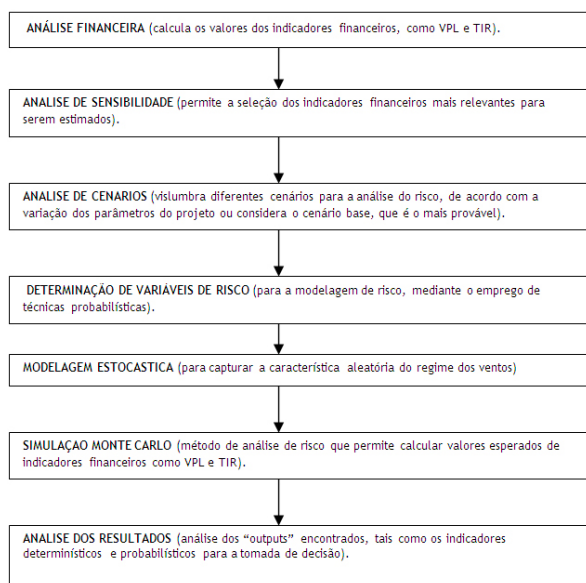
A proposta do trabalho é utilizar os dados diários de velocidade dos ventos de Itaparica (coletados no local por anemômetro) num horizonte de tempo de 01 ano, período suficiente para capturar as características da série histórica. Os dados concernentes aos outros parâmetros do projeto serão obtidos através de

<sup>4</sup> FORTRAN - Consiste em uma linguagem informática de programação de uso científico, matemático e de engenharia.

consulta da literatura existente, tal como a pesquisa no site do fabricante “Wobben Winpower”, que é a única empresa brasileira que fabrica aerogeradores de grande porte. A *Wobben Winpower Ind. e Com. Ltda* é a subsidiária da empresa alemã Enercon, líder mundial em tecnologia eólica.

Os dados relativos ao fator de capacidade e ao rendimento do parque eólico foram calculados com o suporte do programa computacional *windPRO*, de acordo com as características de Itaparica.

Segue, abaixo, a Figura 3 com o fluxograma que resume as análises determinísticas e de risco, dado o caráter aleatório dos ventos, para a avaliação econômico-financeira do estudo de caso do projeto eólico hipotético.



**Figura 3 - Fluxograma da análise de risco do projeto de geração de Energia Eólica**  
Fonte: Adaptado de Cepel (2006)

O indicador financeiro VPL pode ser definido como sendo a diferença entre os fluxos de entrada e saída de recursos de um projeto em sua data inicial, descontando todos os valores futuros do fluxo de caixa pela taxa de juros, que mede o custo de capital. De acordo com Bordeaux-Rêgo (2006), o VPL realiza uma comparação do investimento realizado com o valor presente dos fluxos de caixa gerados pelo projeto. Ainda segundo o autor, se o VPL for positivo, significa que na data inicial do projeto o valor presente de todos os futuros fluxos de caixa, descontados a uma determinada taxa, será maior que todo o capital investido.

Já a TIR é a taxa de desconto que torna nulo o VPL do projeto, igualando em determinado momento

as receitas e os custos previstos no caixa. A TIR representa o maior custo de oportunidade do capital que o projeto pode suportar.

Em termos práticos, o fluxo de caixa será projetado para o período de 20 anos e cada período foi avaliado na data inicial para o cálculo do VPL e determinação da TIR de acordo com os parâmetros apresentados.

De forma objetiva e ainda detalhando a Figura 3, a abordagem do risco será tratada mediante a aplicação de três métodos, que são: a análise de sensibilidade, a análise de cenário e a simulação de Monte Carlo.

A análise de sensibilidade consiste na verificação do impacto de variações nos valores de uma determinada variável sobre os indicadores financeiros determinísticos do projeto, determinando os parâmetros aos quais tais indicadores seriam mais sensíveis.

Através da análise de cenários, foi possível variar simultaneamente mais de um parâmetro do projeto, gerando cenários alternativos ao cenário base do projeto.

A Simulação de Monte Carlo é uma técnica estatística de simulação sofisticada, mas que por esse mesmo motivo demanda esforço computacional. O método SMC consiste em simular vários cenários a partir do processo estocástico (que gera os dados aleatoriamente) para a variável de interesse, que no caso específico deste trabalho seria a velocidade do vento. Dessa forma, a análise de risco mediante a aplicação do método SMC gera 2.000 séries sintéticas, considerando as diversas oscilações do vento, para o cálculo dos valores esperados dos indicadores financeiros.

Os resultados e a análise determinística deste estudo são comentados na próxima seção.

### 3 RESULTADOS: A ANÁLISE DETERMINÍSTICA

Para a análise determinística do parque eólico hipotético, procurou-se coletar valores reais para o cálculo do fluxo de caixa do empreendimento. Alguns valores foram calculados mediante o emprego do “software WindPRO 2”, que a partir de dados tais como: a série histórica dos ventos, a temperatura média local, a densidade do ar, a potência total instalada e o arranjo das máquinas, forneceu os valores do rendimento do parque eólico de 100MW (86,8%) com 125 aerogeradores Enercon da família E-48, tal como o respectivo fator de capacidade (31,4%).

Com todos os parâmetros do projeto definidos e outros calculados, foi possível gerar os “outputs” da análise determinística do Anafin, conforme a Tabela 2:

Tabela 2 - Resultados determinísticos do estudo de caso

Indicadores financeiros determinísticos	Unidade	Resultados
Valor Presente Líquido (VPL)	Milhões R\$	(75,66)
Taxa Interna de Retorno (TIR)	% a.a.	2,43
Tarifa de Equilíbrio (TEQ)	R\$/MWh	281,50
Investimento de Equilíbrio (INVEQ)	Milhões R\$	249,95

Fonte: Elaboração própria

Considerando um custo de capital próprio de 12%a.a, pode-se concluir que o projeto eólico hipotético de Itaparica não é atrativo para o investidor, porque o valor da TIR (2,43% a.a) é inferior ao custo de capital próprio considerado.

O valor negativo do VPL, também calculado pelo “software”, reforça a rejeição do projeto pelo investidor. A Tarifa de Equilíbrio (TEQ) calculada foi de R\$ 281,50 / MWh, valor este superior ao preço da venda de energia, considerado nas premissas da análise financeira (valor normativo de R\$212,00/MWh). O valor máximo de investimento capaz de remunerar o capital dos agentes participantes do projeto foi expresso pelo INVEQ de R\$249,95 milhões, abaixo do investimento considerado no projeto, na ordem de R\$357,92 milhões.

### 3.1 A ANÁLISE DE SENSIBILIDADE APLICADA NO PROJETO DE ITAPARICA

A Análise de Sensibilidade, realizada a partir de alguns parâmetros do projeto, teve como propósito testar “a sensibilidade” dos indicadores financeiros determinísticos, como por exemplo, o Valor Presente Líquido (VPL). Os parâmetros financeiros considerados para a análise de sensibilidade dos indicadores determinísticos foram: o custo de capital próprio, a tarifa de energia e o capital de terceiros. A Figura 4 demonstra, graficamente, o impacto da variação do custo de capital próprio nos resultados do Valor Presente Líquido do projeto eólico. Todas as variações no custo de capital próprio (%a.a) provocaram valores negativos de VPL, apontando para a rejeição do projeto.

Com a variação do custo de capital de terceiros, enfim, o aumento da participação de recursos de terceiros no projeto, não foi capaz de gerar valores positivos de VPL, esses permaneceram com todos os resultados negativos, conforme a Figura 4.

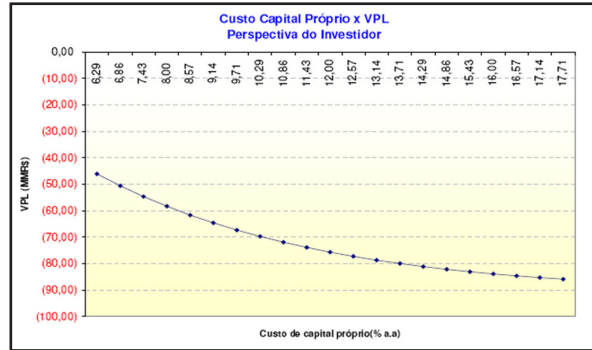


Figura 4 - Sensibilidade do VPL ao custo de capital próprio  
Fonte: Elaboração própria

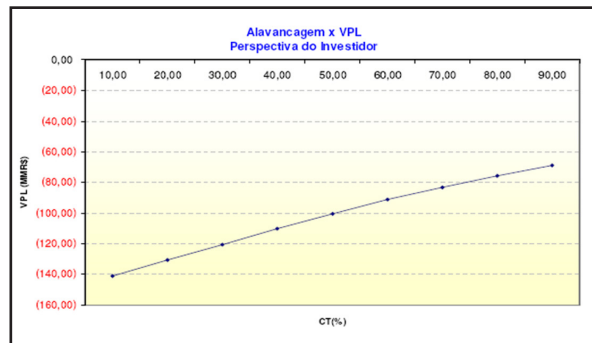


Figura 5 - Sensibilidade do VPL a participação do capital de terceiros (%)  
Fonte: Elaboração própria

Entretanto, a análise de sensibilidade demonstra que, quanto menor a participação do capital de terceiros (CT), menor será o VPL do projeto, por isso é vantajoso para estrutura de capital de um projeto captar recursos oriundos de financiamentos de longo prazo. A tarifa de energia, considerada no projeto de Itaparica, para a venda de energia eólica foi de R\$ 212,00 por MWh, com a variação do valor desse parâmetro foi possível impactar fortemente os resultados de Valor Presente Líquido, demonstrando que o VPL do projeto é bastante sensível às oscilações das tarifas de energia.

A Figura 6 indica o impacto da elevação das tarifas para com os resultados de VPL, levando em consideração que:

- para uma tarifa de R\$ 212,00 /MWh, considerada no estudo de caso, o VPL < 0;
- uma tarifa de R\$ 282,67/MWh, o VPL é igual a zero;
- para tarifas acima de R\$ 282,67/ MWh, a análise de sensibilidade apresenta valores de VPL maiores do que zero, demonstrando quanto o VPL é sensível às oscilações do preço da energia.

As tarifas mais elevadas para a venda de energia irão aumentar a rentabilidade do negócio e possibilitar o retorno do investimento, tornando o projeto mais atrativo para os investidores.

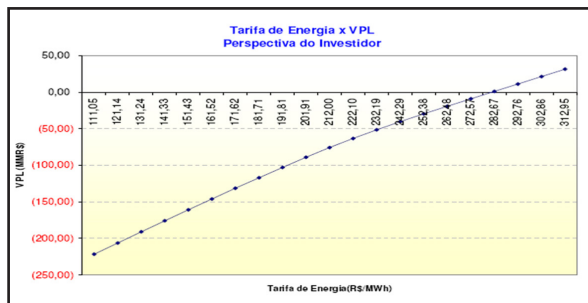


Figura 6 - Sensibilidade do VPL à Tarifa de Energia  
Fonte: Elaboração própria

Pode-se concluir que a determinação da tarifa de energia é um fator decisivo para se aferir a rentabilidade futura de um empreendimento eólico e, além disso, foi verificado que os resultados de VPL são bastante sensíveis em relação a pequenas mudanças desse parâmetro em específico. Alterando a tarifa de energia, poder-se-ia também alterar a decisão do investidor, a partir do momento em que os resultados dos indicadores financeiros do projeto passariam a indicar a sua viabilidade econômico-financeira.

### 3.2 ANÁLISE DE CENÁRIO APLICADA NO PROJETO DE ITAPARICA

A Análise de Cenários foi realizada a partir de variações em alguns parâmetros do projeto, tais como a taxa de câmbio, a tarifa de energia e o custo de instalação, com o objetivo de verificar os novos resultados aferidos dos indicadores financeiros determinísticos. As Figuras 7 e 8 demonstram graficamente os novos resultados de VPLs e tarifas de equilíbrio (TEQ) do projeto, obtidos a partir de mudanças nas taxas de câmbio e custos de instalação, respectivamente.

Para o cenário base do projeto, foi considerado um custo de US\$2.000,00/Kw instalado, uma taxa de câmbio de 1,7896 (consulta ao Bacen em 25.10.2007) e uma tarifa de referência de R\$ 212,00/MWh. Considerando os aumentos percentuais de 20% e 40%, sobre a taxa de câmbio original, são obtidas as novas taxas de câmbio de R\$2,15/US\$ e R\$2,51/US\$ a serem aplicadas no projeto para o recálculo dos indicadores financeiros, tais como: VPL e TEQ. Também foram consideradas as reduções de 20% e 40% da taxa de câmbio, obtendo respectivamente os valores de R\$1,43/US\$ e R\$1,07/US\$.

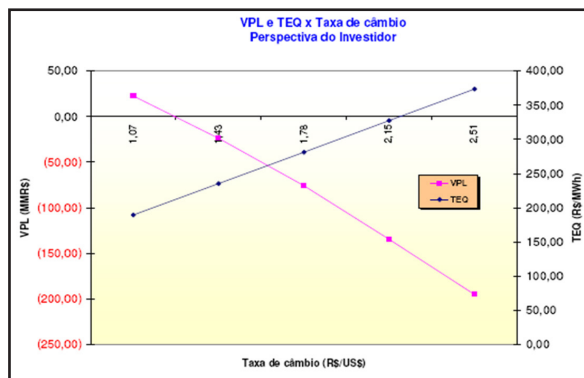


Figura 7 - Valores de VPLs e TEQs a partir de variações cambiais  
Fonte: Elaboração própria

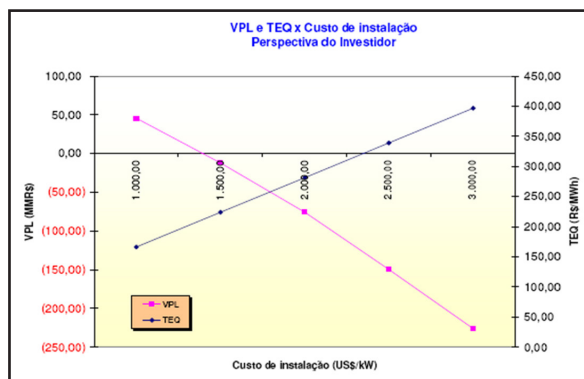


Figura 8 - Valores de VPLs e TEQs a partir de variações no custo de instalação  
Fonte: Elaboração própria

Uma taxa de câmbio de R\$ 1,25/US\$ será capaz de tornar nulo o VPL, nesse ponto, em específico, é indiferente aceitar ou não o projeto. As taxas de câmbio menores que R\$ 1,25/US\$, são capazes de tornar os valores de VPL positivos ( $VPL > 0$ ), indicando a aceitação do projeto e influenciando a decisão do investidor. Pode-se concluir que taxas menores de câmbio quando aplicadas no projeto, proporcionam melhores resultados de VPLs e menores tarifas de equilíbrio porque reduzem os custos com aquisição dos aerogeradores, cujos valores são fornecidos em dólar.

O risco cambial precisa ser incorporado na análise de viabilidade do projeto, porque sob a perspectiva do investidor, é preciso haver precauções em relação às flutuações do real frente ao dólar, que poderão afetar a atratividade do projeto. Atualmente, o real está apreciado frente ao dólar, o câmbio tem funcionado de acordo com as regras de mercado, em conformidade com a política de câmbio flutuante adotada pelo Brasil.

Também é pertinente considerar as oscilações dos custos dos aerogeradores. Um aumento no preço

desses equipamentos, por exemplo, irá acarretar um aumento nos custos de instalação e consequentemente prejudicar o VPL do projeto, além de proporcionar tarifas de equilíbrio (TEQ) mais elevadas, conforme a Figura 8. Em contrapartida, um valor de custo de instalação de aproximadamente US\$1.300,00/kW, tornaria nulo o Valor Presente Líquido. Os valores de custo de instalação menores que US\$ 1.300,00/kW iriam proporcionar valores de VPL positivos, impactando positivamente na decisão do investidor.

Para que um empreendimento eólico seja mais atrativo ao investidor, é necessário reduzir os seus custos de instalação, gerando tarifas mais competitivas e também melhores resultados dos indicadores financeiros. Os gráficos das Figuras 9 e 10 contemplam os diversos valores de VPL obtidos, mediante as variações nas taxas de câmbio e nos custos de instalação do projeto, respectivamente, consubstanciados com mudanças nas tarifas de energia. Nesses gráficos são considerados, além do cenário base do estudo de caso, os cenários alternativos gerados por alterações nas taxas de câmbio e nos custos dos aerogeradores por kW instalado.

A partir da análise dos gráficos, pode-se concluir que fatores como a apreciação do real frente ao dólar e a diminuição dos custos de instalação irão proporcionar melhores valores de VPLs, tornando o projeto mais atrativo para o investidor. Em contrapartida, considerando o custo de instalação acima de US\$ 2.500,00/kW e a taxa de câmbio acima de R\$2,15/US\$, por exemplo, verifica-se um cenário pessimista. Nesse cenário, mesmo as tarifas mais elevadas não são suficientes para melhorar os resultados de VPLs, que apresentam ao longo da curva sempre valores negativos, indicando a rejeição do projeto.

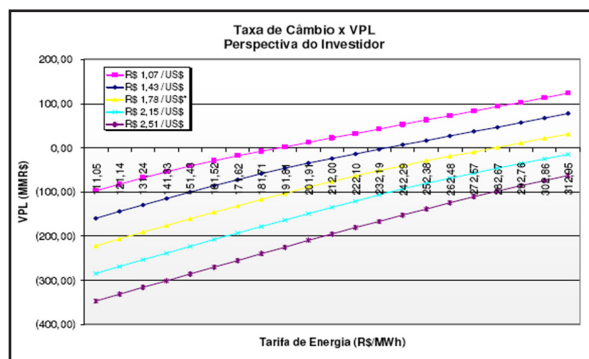


Figura 9 - Variações na taxa de câmbio e tarifa de energia x VPL  
Fonte: Elaboração própria

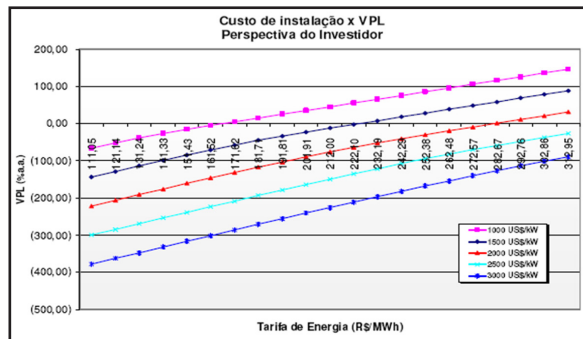


Figura 10 - Variações no custo de instalação e tarifa de energia x VPL  
Fonte: Elaboração própria

Na sequência, apresentam-se resultados quanto à análise de risco do projeto eólico.

#### 4 RESULTADOS: ANÁLISE DE RISCO DO PROJETO EÓLICO

Para realizar a análise de risco, foram utilizados os mesmos parâmetros (técnicos e financeiros) resumidos na Tabela 1, mas o diferencial está na utilização da série histórica de 01 ano da região de Itaparica e a curva de potência do aerogerador E-48. A série histórica recebeu uma modelagem no “software” *windPRO* 2 com a aplicação da distribuição de Weibull<sup>5</sup>. Foi possível obter pelo “*windPRO*” os valores calculados do fator de capacidade (31,4%) e rendimento do parque eólico (86,8%).

Em resumo, a partir da correção da série histórica, das condições climáticas de Itaparica (local de medição dos ventos) e dos dados do aerogerador Enercon E-48, indicados na análise de risco, o “software” Anafin versão 3.6 calcula a distribuição de frequência acumulada da velocidade do vento. Com base nesta distribuição, são sorteados valores aleatórios (processo estocástico) de velocidade de vento para gerar as 2.000 séries sintéticas diárias, que serão objeto para cálculos probabilísticos incorporando o risco eólico.

Pode-se concluir pela Tabela 3, que o valor esperado do VPL associado à aleatoriedade das velocidades diárias de vento é menor do que zero, indicando a inviabilidade econômico-financeira do projeto eólico de Itaparica. Os valores esperados de VPL (resultados probabilísticos) estão em conformidade com o resultado determinístico anterior, que apresentou um VPL negativo de R\$ -75,66 milhões.

<sup>5</sup> De acordo com Silva (2006), a função de densidade de probabilidade da distribuição de Weibull depende dos parâmetros A (relacionado à velocidade média do vento) e k (relacionado à forma da curva).



O desvio padrão do Valor Presente Líquido foi de 0,18 (Milhões R\$), que é uma medida da dispersão do VPL. O Coeficiente de Variação da distribuição de VPLs foi de 0,05%, esse coeficiente refere-se à incerteza em torno da estimativa, calculado com base na variância do estimador financeiro.

O Coeficiente de Variação das médias de VPLs calculado foi de 0,01%, representando a medida de precisão em relação a quantidade de séries sintéticas escolhida para o cálculo do estimador. A probabilidade de VPLs menores do que zero é próxima de 100%, dessa forma, a rentabilidade aferida é inferior ao custo de capital próprio do investidor.

Tabela 3 - Resultados probabilísticos do estudo de caso

Indicadores probabilísticos	Unidade	Resultados
Média da Distribuição de VPLs	Milhões R\$	(361,75)
Desvio padrão do VPL	Milhões R\$	0,18
Coeficiente de Variação da Distribuição de VPLs	%	0,05
Coef de Variação das Médias de VPL	%	0,01
Probabilidade de VPL<0	%	100,00

Fonte: Elaboração própria

A Tabela 4 contempla os valores dos VPL's correspondentes aos percentis de 1%, 5%, 10% e 20%. Na Simulação de Monte Carlo, o VaR de 5%, indica que para 100 dos 2.000 VPLs registraram-se abaixo de R\$ - 362,01 milhões, considerando um intervalo de confiança de 95%.

Tabela 4 - Valores dos Percentis dos VPLs

Percentis	Unidade	Resultados
Percentil (1%)	Milhões R\$	(362,11)
Percentil (5%)	Milhões R\$	(362,01)
Percentil (10%)	Milhões R\$	(361,97)
Percentil (20%)	Milhões R\$	(361,90)

Fonte: Elaboração própria

Pode-se concluir que a análise probabilística confirma os resultados apurados pela análise financeira determinística, indicando a rejeição do projeto hipotético de Itaparica. A região apresentou um potencial eólico favorável, em virtude das boas condições dos ventos, com velocidade média de 7,6 m/s. Entretanto, sob o ponto de vista econômico-financeiro, o projeto é considerado inviável devido os resultados apresentados anteriormente.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O diferencial desse trabalho foi tratar o estudo de viabilidade a partir de dados reais de velocidade de vento que foram coletados em Itaparica, além do emprego do "windPRO" para fornecer ao "software" Anafin parâmetros reais, tais como: o fator de capacidade (FC) e a eficiência do parque eólico.

Também merece destaque o Método de Simulação de Monte Carlo (SMC) para a geração das 2.000 séries sintéticas aplicadas no cálculo dos indicadores financeiros probabilísticos, fornecendo resultados mais confiáveis aos investidores porque é incorporado o caráter aleatório do regime dos ventos. A análise de sensibilidade foi útil para verificar os parâmetros mais importantes do projeto, enfim, aqueles capazes de contribuir para melhores resultados de Valor Presente Líquido (VPL). Através da análise de cenários, foi possível concluir que, para tornar viável o projeto de Itaparica seria necessário adotar um custo de instalação de US\$ 1.500,00/kW e uma tarifa de energia de R\$ 222,10/MWh.

A segunda fase do PROINFA, cujo início foi adiado, prevê o aumento do índice de nacionalização dos equipamentos de 60% para 90%. Isso permitirá no futuro uma ampliação da produção nacional de aerogeradores, gerando redução nos custos de instalação.

Entretanto, os resultados encontrados da análise de viabilidade econômico-financeira, considerando o cenário base do estudo de caso, indicaram a rejeição do projeto eólico hipotético de Itaparica, tanto pela análise determinística como pela probabilística. A despeito da inviabilidade do projeto de Itaparica, este trabalho busca fomentar novos estudos de viabilidade econômico-financeira, principalmente na região Nordeste.

Em relação ao momento atual da energia eólica no Brasil, foram feitos muitos avanços, mas ainda é preciso haver mais investimento em tecnologias para reduzir os custos e baratear a tarifa de energia eólica, tornando-a mais competitiva.

Pode-se concluir que o desenvolvimento da energia eólica no país depende de uma série de melhorias nos aspectos financeiros, tecnológicos e governamentais. Vale salientar que, em se tratando de uma fonte alternativa de energia, a questão da energia eólica não deve limitar-se puramente ao seu aspecto econômico-financeiro. Existem os aspectos ambientais relativos à redução na emissão de dióxido de carbono, tal como o aspecto estratégico de diversificação da matriz energética e de complementaridade entre o regime hidrológico e o eólico, enfim, todos esses fatores devem ser considerados e analisados. Além disso, é inegável o fato de que o país possui um enorme potencial eólico, que precisa ser melhor explorado.

## REFERÊNCIAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica.  
Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 13 jun. 2007.

BACEN - Banco Central do Brasil. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br>>. Acesso em: 25 out. 2007.

BERTAGNOLLI, R. F.; PÉS, M. P.; PEREIRA, E. B.; SCHUCH, N. J. **Avaliação do potencial eólico no sul do Brasil**. Relatório final de projeto de iniciação científica PIBIC/INPE - CNPq/MCT. Santa Maria: 2006.

BITTENCOURT, R.M. **Análise de Investimento de uma Usina Termelétrica em Ambientes de Incerteza e Risco**. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal de Pernambuco - PIMES/ UFPE, 2005.

BORDEAUX-RÊGO, R.; PAULO, G. P.; SPRITZER, I. M. P.; ZOTES, L. P. **Viabilidade econômico-financeira de projetos**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2006.

CEPEL. **Manual de Metodologia**: Programa ANAFIN Versão 3.5. Relatório Técnico. Rio de Janeiro, 2006.

ENERCON, Energy for the World. Disponível em: <<http://www.enercon>>. Acesso em: 02 dez. 2006.

GITMAN, L. J. **Princípios de Administração Financeira**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

NASCIMENTO, M. H. L. **Impacto de Centrais Eólicas no Mercado de Energia Elétrica**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Itajubá, 2005.

ROCHA, P. G.; LIMA, M. A. Q.; MELO JÚNIOR, A. B. M.; BEZERRA, P.; BITTENCOURT, R. M. **Avaliação econômico-financeira de projeto de central eólica na região Nordeste**. Trabalho Técnico apresentado no VIII SEPEF - Brasília, 2000.

SALLES, A.C.N. **Metodologias de Análise de Risco para Avaliação Financeira de projetos de Geração Eólica**. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - COOPE/ UFRJ, 2004.

SILVA, N.F. **Fontes de Energia Renováveis Complementares na Expansão do Setor Elétrico Brasileiro: O Caso da Energia Eólica**. Dissertação (Doutorado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, 2006.

WINDPOWER. Disponível em: <<http://www.windpower-monthly.com>>. Acesso em: 22 fev. 2007.

WOBEN WINDPOWER/ENERCON. Disponível em: <<http://www.wobben.com.br>>. Acesso em: 12 mar. 2007.