



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
MECÂNICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**MODELO MATEMÁTICO PARA OTIMIZAÇÃO DO CUSTO
DE UM SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-SOLAR:
APLICAÇÃO NO BOMBEAMENTO DE PETRÓLEO**

BRISMARK GÓES DA ROCHA

PPgEM N^o 173

Natal, julho de 2007

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
MECÂNICA

MODELO MATEMÁTICO PARA OTIMIZAÇÃO DO CUSTO
DE UM SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-SOLAR:
APLICAÇÃO NO BOMBEAMENTO DE PETRÓLEO

Dissertação submetida à

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
Como parte dos requisitos para a obtenção do título de
MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

BRISMARK GÓES DA ROCHA

Orientador: Prof. Dr. JOSÉ WILSON LAGE NOGUEIRA

Natal, julho de 2007

Rocha, Brismark Góes da.

Modelo matemático para otimização dos custos de um sistema híbrido eólico-solar : aplicação no bombeamento de petróleo / Brismark Góes da Rocha. – Natal, RN, 2007.

126p.

Orientador: José Wilson Lage Nogueira.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

1. Sistema híbrido eólico-solar – Dissertação. 2. Otimização – Modelo matemático – Dissertação. 3. Petróleo – Bombeamento – Dissertação. I. Nogueira, José Wilson Lage. II. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 621.548:621.472

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA

MODELO MATEMÁTICO PARA OTIMIZAÇÃO DO CUSTO DE
UM SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO-SOLAR:
APLICAÇÃO NO BOMBEAMENTO DE PETRÓLEO

BRISMARK GÓES DA ROCHA

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de

MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

sendo aprovada em sua forma final.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Wilson Lage Nogueira (UFRN)
Orientador

Prof. Dr. Antônio Pralon Ferreira Leite (UFPB)
Examinador Externo

Prof. Dr. Iloneide Carlos de Oliveira Ramos (UFRN)
Examinador Interno

Prof. Dr. Ângelo Roncalli Oliveira Guerra (UFRN)
Examinador Interno

Dedico este trabalho especialmente a minha esposa Rosalba e a meu filho Brismark Lucas, pelo apoio e pela compreensão nas inúmeras vezes em que deixei de estar presente na rotina familiar.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à inteligência suprema e causa primeira de todas as coisas, denominado por muitos como “Deus”.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Wilson Lage Nogueira, pela sua paciência, disciplina e ensinamentos que contribuíram para o acúmulo de conhecimento.

Ao Departamento de Matemática e Estatística da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte-UERN-Campus CAJIM, pela flexibilidade do horário acadêmico.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, pelo acolhimento e apoio na apresentação/publicação de artigo.

A todos os professores do Programa, com os quais tive a oportunidade de cursar disciplinas de fundamental importância para a chegada desta etapa final.

A todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste Trabalho.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 Objetivo Geral.....	20
1.2 Objetivos Específicos.....	20
1.3 Justificativa.....	20
2 ESTADO DA ARTE	22
2.1 A Geração de Energia Elétrica no Brasil.....	22
2.2 Sistemas Híbridos Instalados.....	24
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	27
3.1 O Sol.....	27
3.1.1 Movimento Anual do Sol.....	27
3.1.2 Posições Características do Sol.....	28
3.2 Cálculo do Ângulo de Incidência.....	29
3.3 Sistema Fotovoltaico Autônomo.....	32
3.3.1 Módulos Fotovoltaicos.....	33
3.3.2 Tipos de Fotocélulas.....	34
3.3.3 Potência Máxima dos Módulos Fotovoltaicos.....	36
3.4 O Vento.....	37
3.5 Sistema Eólico Autônomo.....	38
3.5.1 Turbinas Eólicas.....	39
3.5.2 Coeficiente de Potência.....	40
3.6 Sistema Híbrido.....	44
3.6.1 Custo de um Sistema Híbrido (Eólico-solar).....	47
3.7 Métodos para Redução de Custos em Sistemas de Bombeamento.....	48
3.7.1 Tipos de Acionamentos de Motores Elétricos.....	49
4 METODOLOGIA	54
4.1 Descrição.....	54
4.2 Dimensionamento de um Sistema Eólico-solar.....	55
4.2.1 Dimensionamento do Banco de Baterias.....	56
4.2.2 Dimensionamento Eólico.....	57
4.2.3 Dimensionamento Solar.....	58
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	59
5.1 O Modelo Matemático.....	59

5.2 Aplicação.....	62
5.2.1 Dimensionamento do Sistema.....	62
5.2.2 Energia Produzida pelo Aerogerador.....	63
5.2.3 Determinação do Número de Módulos Fotovoltaicos.....	64
5.2.4 Custo Estimado.....	64
5.3 Programa Computacional	65
5.4 Avaliação dos Cenários.....	67
6 CONCLUSÃO.....	82
7 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	84
8 REFERÊNCIAS.....	85
APÊNDICES.....	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Evolução da participação das fontes de energia.....	23
Figura 02: Sistema híbrido experimental.....	24
Figura 03: Sistema híbrido eólico-solar.....	26
Figura 04: Movimento anual do Sol.....	28
Figura 05: Posições características do Sol.....	29
Figura 06: Ângulo zênite, ângulo da superfície azimute e o ângulo azimute solar para superfície inclinada.	30
Figura 07: Esquema de um sistema fotovoltaico básico.....	33
Figura 08: Conversão direta da radiação solar em eletricidade.....	34
Figura 09: Módulo fotovoltaico com silício monocristalino.....	35
Figura 10: Módulo fotovoltaico com silício policristalino.....	35
Figura 11: Módulo fotovoltaico com silício amorfo.....	36
Figura 12: Curva característica I-V de um módulo fotovoltaico.....	36
Figura 13: Diagrama de um sistema eólico.....	38
Figura 14: Comportamento do vento antes e após cruzar o aerogerador.....	40
Figura 15: Coeficiente de potência em função da razão da velocidade.....	41
Figura 16: Principais componentes de um sistema de geração eólica.....	43
Figura 17: Turbina Savonius.....	43
Figura 18: Turbina eólica Darrieus com rotores de eixo vertical.....	43
Figura 19: Turbinas eólicas com rotores de eixo horizontal.....	44
Figura 20: Turbina tipo Holandês.....	44
Figura 21: Configuração simples híbrida para corrente contínua.....	45
Figura 22: Configuração simples híbrida para corrente alternada.....	45
Figura 23: Configuração simples híbrida para CC e CA.....	45
Figura 24: Configuração híbrida com equipamentos funcionando em paralelo nos barramentos CC e CA.....	46
Figura 25: Configuração híbrida com equipamentos funcionando em paralelo nos barramentos CC e CA, tendo o retificador em série com o aerogerador CA.....	46
Figura 26: Potência consumida durante o arranque de motor elétrico com partida direta.....	50
Figura 27: Potência consumida durante o arranque de motor elétrico com autotransformador.....	51

Figura 28: Potência consumida durante o arranque de motor elétrico com acionamento tipo estrela-triângulo.....	52
Figura 29: Potência consumida durante o arranque de motor elétrico com partida suave.....	53
Figura 30: Gráfico de resíduos versus valores preditos.....	61
Figura 31: Gráfico da probabilidade normal dos resíduos.	61
Figura 32: Tela de entrada de dados para o cálculo do custo de implantação de um sistema eólico-solar, cenário 1.....	65
Figura 33: Tela de entrada de dados para o cálculo do custo de implantação de um sistema eólico-solar, cenário 2.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 01:	Custo de instalação em fontes renováveis	20
Tabela 02:	Albedo de algumas superfícies.....	32
Tabela 03:	Condições de uso da velocidade média anual do vento a dez metros de altura do solo.....	42
Tabela 04:	Fator de rugosidade dos terrenos planos.....	42
Tabela 05:	Cálculo do custo de instalação/fator de capacidade.....	47
Tabela 06:	Análise de variância.....	59
Tabela 07:	Resumo da regressão.....	60
Tabela 08:	Velocidade do vento a 4m/s para motor elétrico de 3 HP.....	67
Tabela 09:	Velocidade do vento a 5m/s para motor elétrico de 3 HP.....	67
Tabela 10:	Velocidade do vento a 4m/s para motor elétrico de 5 HP.....	68
Tabela 11:	Velocidade do vento a 5m/s para motor elétrico de 5 HP.....	68
Tabela 12:	Velocidade do vento a 6m/s para motor elétrico de 5 HP.....	68
Tabela 13:	Resultado da aplicação do teste Friedman.....	69
Tabela 14:	Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, com aerogerador de 7 m de diâmetro e velocidade média do vento de 4 m/s para 1 dia de autonomia.....	72
Tabela 15:	Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, com aerogerador de 4 m de diâmetro e velocidade média do vento de 6 m/s para 1 dia de autonomia.	73
Tabela 16:	Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, com aerogerador de 3 m de diâmetro e velocidade média do vento de 8 m/s para 1 dia de autonomia.....	74
Tabela 17:	Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, com aerogerador de 4 m de diâmetro e velocidade média do vento de 7 m/s para 1 dia de autonomia.....	75
Tabela 18:	Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, com aerogerador de 3 m de diâmetro e velocidade média do vento de 8 m/s para 1 dia de autonomia.....	76
Tabela 19:	Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, com aerogerador de 3 m de diâmetro e velocidade média do vento de 9 m/s para 1 dia de autonomia	77
Tabela 20:	Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, com aerogerador de 7 m de diâmetro e velocidade média do vento de 5 m/s para 1 dia de autonomia.....	78
Tabela 21:	Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, com aerogerador de 6 m de diâmetro e velocidade média do vento de 6 m/s para 1 dia de autonomia.....	79
Tabela 22:	Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, com aerogerador de 3 m de diâmetro e velocidade média do vento de 10 m/s para 1 dia de autonomia.....	80

Tabela 23: Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, com aerogerador de 3 m de diâmetro e velocidade média do vento de 5 m/s para 1 dia de autonomia..... 81

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
CBEE	- Centro Brasileiro de Energia Eólica
CELPE	- Companhia Energética de Pernambuco
CEMIG	- Companhia Energética de Minas Gerais
CEPEL	- Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CHESF	- Companhia Energética do São Francisco
COELCE	- Companhia Energética do Ceará
CONEM	- Congresso Nacional de Engenharia Mecânica
COPEL	- Companhia Paranaense de Energia Elétrica
COSERN	- Companhia de Serviços Elétricos do Rio Grande do Norte
CRESESB	- Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
GTZ	- <i>Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit</i>
HN	- Hemisfério Norte
HS	- Hemisfério Sul
NREL	- National Renewable Energy Laboratory
ONU	- Organização das Nações Unidas
PCH	- Pequena Central Hidrelétrica
PE	- Pernambuco
PRODEEM	- Programa para o Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios
SABESP	- Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SINAPE	- Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística
UFPE	- Universidade Federal de Pernambuco
UFRN	- Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UN-RNCE	- Unidade de Negócios Rio Grande do Norte Ceará
USA/DoE	- Departamento de Energia dos EUA

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos Latinos

A : Área do rotor.....	[m ²]
A_p : Área do painel fotovoltaico.....	[m ²]
C : Controlador de carga	[adimensional]
CA : Corrente alternada.....	[-]
cb : Capacidade de cada bateria.....	[Ah]
CC : Corrente contínua.....	[Ah]
cd : Consumo diário.....	[Wh]
CNA : Capacidade necessária para armazenamento.....	[Ah]
C_p : Coeficiente de potência.....	[adimensional]
CT : Custo total.....	[Unidade monetária]
$Ctbb$: Capacidade total do banco de baterias.....	[Ah]
DA : Dias de autonomia.....	[unidade]
dda : Demanda diária de armazenamento.....	[Wh]
$DDTE$: Demanda diária total de energia.....	[Wh]
D : Diâmetro do eixo do rotor.....	[m]
E : Energia cinética.....	[J]
E_{pa} : Energia produzida pelo aerogerador	[Wh]
E_{sc} : Energia solar complementar	[Wh]
F : Distribuição Estatística F-Snedecor	[adimensional]
FC : Fator de capacidade.....	[%]
f_r : Frequência	[Hz]
f_t : Fator de rugosidade do terreno.....	[adimensional]
gl : Graus de liberdade.....	[unidade]
H_C : Altura conhecida.....	[m]
H_D : Altura desejada.....	[m]
HP : Horse Power.....	[unidade]
H_0 : Hipótese nula.....	[adimensional]
H_1 : Hipótese alternativa.....	[adimensional]
id : Média da insolação diária.....	[hora]
I_M : Corrente máxima.....	[A]

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

kW_p : Kilowatt pico.....	[kW]
L : Longitude.....	[°]
Li : Limite inferior do intervalo de confiança da estimativa.....	[US\$/R\$]
Ls : Limite superior do intervalo de confiança da estimativa.....	[US\$/R\$]
m : Massa de ar.....	[kg]
MWp : Megawatt pico.....	[MW]
N_g : Eficiência do sistema mecânico.....	[%]
n : Número de dias.....	[unidade]
nbp : Número de baterias em paralelo	[unidade]
nbs : Número de baterias em série.....	[unidade]
$NDRB$: Número de dias de recuperação do banco de baterias	[unidade]
NM : Número de módulos.....	[unidade]
nmp : Número de módulos em paralelo.....	[unidade]
nms : Número de módulos em série.....	[unidade]
ntb : Número total de baterias	[unidade]
N : Número de rotações.....	[rps]
p : Profundidade de descarga da bateria.....	[%]
P : Probabilidade de rejeição.....	[%]
P_a : Potência eólica aproveitável.....	[W]
P_e : Potência estimada da turbina.....	[W]
P_d : Potência eólica disponível.....	[W]
P_g : Potência gerada.....	[W]
PM : Potência do módulo fotovoltaico.....	[W]
P_{MAX} : Potência Máxima.....	[W]
P_{motor} : Potência do motor elétrico	[W]
p_o : Número de pólos.....	[adimensional]
R_o : Rotação.....	[rpm]
R_v : Razão de velocidade.....	[adimensional]
R_s : Radiação solar.....	[W/m ²]
s : Escorregamento	[%]
tf : Tempo de funcionamento do motor.....	[horas]
t-value: Teste t- Student calculado.....	[unidade]
v : Velocidade do vento na altura desejada.....	[m/s]
V : Velocidade do vento.....	[m/s]

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

V_0 : Velocidade do vento disponível na altura conhecida.....	[m/s]
V_{Banco} : Voltagem do banco de baterias	[V]
$V_{Bateria}$: Voltagem de cada bateria	[V]
V_C : Tensão requerida pelas cargas	[V]
V_{cc} : Tensão da corrente contínua.....	[V]
V_{ca} : Tensão da corrente alternada.....	[V]
V_1 : Velocidade do vento antes de cruzar o aerogerador.....	[m/s]
V_2 : Velocidade do vento após cruzar o aerogerador.....	[m/s]
V_{GP} : Tensão fornecida pelos painéis	[V]
V_M : Voltagem máxima.....	[V]
z : Distribuição estatística normal.....	[%]

Símbolos Gregos

β : Ângulo de inclinação	[°]
β_i : Coeficientes do modelo.....	[adimensional]
γ : Ângulo azimute de superfície	[°]
δ : Declinação	[°]
ε : Erro aleatório.....	[adimensional]
η : Rendimento global do sistema	[%]
θ : Ângulo de incidência.....	[°]
θ_z : Ângulo de zênite	[°]
ρ : densidade do ar	[kg/m ³]
σ^2 : Variância	[US\$ ²]
ϕ : Latitude	[°]
ϖ : Ângulo horário	[°]

RESUMO

Este trabalho propõe a aplicação de uma metodologia para otimizar o custo da implantação de um sistema híbrido eólico-solar para bombeamento de petróleo. O modelo desenvolvido estima o custo da implantação do sistema por meio da utilização da técnica de Regressão Linear Múltipla, com base no conhecimento prévio das variáveis: capacidade necessária de armazenamento, demanda diária total de energia, potência do aerogerador, potência de módulos e número de módulos, sendo estas variáveis obtidas por meio de dimensionamento. O modelo proposto pode ser aplicado não somente ao bombeamento de petróleo, mas também para quaisquer outras finalidades de geração de energia elétrica por conversão da energia eólica, solar ou eólica-solar que demandem baixas potências. Foram utilizados testes estatísticos paramétricos tais como o T-student, para detectar a diferença significativa na média do custo total ao ser considerado o diâmetro do aerogerador; o F de Snedecor, na análise de variância para testar se os coeficientes do modelo proposto são significativamente diferentes de zero e o teste estatístico não-paramétrico de Friedman, para verificar se existe diferença no custo do sistema, ao ser considerado as potências dos módulos fotovoltaicos. Na decisão dos testes de hipóteses considerou-se um nível de significância de 5%. As configurações de potências dos módulos apresentaram diferenças significativas no custo total do investimento ao ser considerado um motor elétrico de 3 HP. As configurações de potências dos módulos apresentaram diferenças significativas com motor elétrico de 5 HP somente para velocidades de vento de 4 m/s e 6 m/s em aerogeradores de 3 m, 4 m e 5 m de diâmetros. Não existiu diferença significativa nos custos para diâmetros de aerogeradores de 3 m e 4 m. O modelo matemático e o programa computacional podem ser utilizados para outras aplicações que requeiram potência elétrica entre 2.250 W e 3.750 W. Desenvolveu-se um programa computacional para auxiliar o estudo de várias configurações, o qual otimiza o custo de implantação de um sistema eólico-solar com base no modelo matemático proposto.

ABSTRACT

This work purposes the application of a methodology to optimize the implantation cost of an wind-solar hybrid system for oil pumping. The developed model is estimated the implantation cost of system through Multiple Linear Regression technique, on the basis of the previous knowledge of variables: necessary capacity of storage, total daily energy demand, wind power, module power and module number. These variables are gotten by means of sizing. The considered model not only can be applied to the oil pumping, but also for any other purposes of electric energy generation for conversion of solar, wind or solar-wind energy, that demand short powers. Parametric statistical T-student tests had been used to detect the significant difference in the average of total cost to being considered the diameter of the wind, F by Snedecor in the variance analysis to test if the coefficients of the considered model are significantly different of zero and test not-parametric statistical by Friedman, to verify if there is difference in the system cost, by being considered the photovoltaic module powers. In decision of hypothesis tests was considered a 5%-significant level. The configurations module powers showed significant differences in total cost of investment by considering an electrical motor of 3 HP. The configurations module powers showed significant differences in total cost of investment by considering an electrical motor of 5 HP only to wind speed of 4m/s and 6 m/s in wind of 3 m, 4m and 5 m of diameter. There was not significant difference in costs to diameters of winds of 3 m and 4m. The mathematical model and the computational program may be used to others applications which require electrical between 2.250 W and 3.750 W. A computational program was developed to assist the study of several configurations that optimizes the implantation cost of an wind-solar system through considered mathematical model.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A geração de energia elétrica por meio de sistemas fotovoltaicos e, principalmente, por conversão de energia eólica, vem se transformando nos últimos dez anos em uma alternativa real para suprir a necessidade de energia elétrica em áreas isoladas ou mesmo nas áreas urbanas, embora ainda de forma limitada. Isso se deve a uma série de fatores, dentre os quais se destacam: a implantação de um grande programa nacional (PRODEEM) para suporte de instalações em áreas isoladas (embora restrito a usos comunitários); a queda dos preços nacionais e internacionais dos sistemas disponíveis em relação à última década; o caráter renovável; e o fato de a energia gerada por sistemas fotovoltaicos ser aproveitada localmente, contribuindo para a geração de renda e emprego nessas localidades, de forma não agressiva ao meio ambiente local e global (FERREIRA, 2002).

As ações pioneiras da primeira fase de expansão dos projetos fotovoltaicos e eólicos no Brasil apoiaram-se nos projetos de cooperação internacional, com destaque para a atuação do Projeto Eldorado (Alemanha) e das ações do Departamento de Energia dos EUA - USA/DoE. Dentre os projetos implantados com esse formato destacam-se:

- 1.386 W, correspondendo a 18 módulos Solarex MSX-77, instalado no Parque Ecológico Porto Sauípe/BA, para alimentação de luminárias, equipamentos de informática e sistemas de áudio e vídeo;
- 75 kW de turbina eólica, em Fernando de Noronha, parceria formada entre o Folkcenter (Dinamarca), a Companhia Energética de Pernambuco - CELPE - e a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE);
- 14,5 kWp fotovoltaicos em quinze sistemas de bombeamento fotovoltaicos no interior do Ceará, numa cooperação envolvendo GTZ (Alemanha), a Companhia Energética do Ceará (COELCE) e a Secretaria de Planejamento do Estado do Ceará;
- 1,0 MW eólico, no Morro do Camelinho/MG, agenciado pela Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG, dentro do Programa Eldorado (Alemanha);
- 67,4 kWp fotovoltaicos distribuídos em 837 residências, 71 escolas e outros equipamentos comunitários no interior dos estados do Ceará e Pernambuco, na primeira fase da cooperação do USA/DoE, com suporte da Instituição americana National

Renewable Energy Laboratory – NREL, e do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL;

- 108,57 kWp fotovoltaicos e 67,5 kW de energia eólica em sistemas comunitários e residenciais na Bahia e em Minas Gerais, e sistemas híbridos, com energia eólica, alimentando micro-redes nos estados do Amazonas e Pará, compondo a segunda etapa da cooperação USA/DoE, com o envolvimento do NREL, do CEPEL e das Concessionárias Estaduais;

- 59,5 kWp fotovoltaicos do Programa Eldorado em Pernambuco, instalados em 404 escolas e 15 sistemas de bombeamento de água;

- 1,2 MW eólica, que constitui o Parque Eólico do Mucuripe, em Fortaleza, como parte do Programa Eldorado (Alemanha), numa cooperação entre a Companhia Elétrica do Ceará (COELCE) e a Companhia Energética do São Francisco – CHESF;

- 10 MW eólica, Prainha(CE), Projeto Wobben Windpower em parceria com a COELCE, considerado em 1999 o maior parque eólico da América Latina, com produção anual de 35 milhões de kWh;

- 5 MW eólica, São Gonçalo do Amarante(CE), Projeto agenciado pelo Wobben Windpower, sendo Taíba a primeira usina eólica do mundo construída sobre dunas de areia, sendo sua produção adquirida pela COELCE;

- 2,5 MW eólicas, Palmas(PR), agenciadas pelas Centrais Eólicas do Paraná em sociedade com Wobben Windpower, considerada a primeira usina eólica do sul do Brasil, cuja produção é adquirida pela Companhia Paranaense de Energia Elétrica – COPEL.

No Brasil, quanto às fontes renováveis de energia elétrica, há o predomínio de parques eólicos para geração de eletricidade, pois seu custo de instalação é bem inferior comparado a outras fontes de geração (Tabela 01), além das velocidades de ventos favoráveis principalmente ao longo da região litorânea. O custo dos sistemas eólicos tende a decrescer à medida que a tecnologia avança, criando aerogeradores mais eficientes e ocasionando não só a redução no custo da planta, bem como um menor custo de operação e manutenção.

Tabela 01: Custo de instalação em fontes renováveis

Fonte	Custo Instalado (US\$/kW) (US\$ 1 = R\$ 1,95)
Biomassa	1.000 – 2.000
Eólica	900 – 1.400
PCH	1.000 – 3.000
Solar PV	6.000 – 10.000
Heliotérmica	3.000 – 10.000 *

Fonte: Agência Internacional de Energia (SALLES, 2004).

* Varia com a tecnologia

1.1 Objetivo Geral

Determinar e analisar um modelo matemático que estime o custo de implantação de um sistema híbrido eólico-solar em regiões isoladas.

1.2 Objetivos Específicos

Contribuir na definição do cenário mais econômico para a instalação de uma planta híbrida eólica-solar de pequeno porte, para geração de energia elétrica para bombeamento de petróleo que atenda a potências de 3 HP (2.250 W) e 5 HP (3.750 W).

Desenvolver um programa computacional que simule e estime o custo das diversas configurações híbridas.

Dimensionar o banco de baterias, calcular o número de módulos fotovoltaicos e determinar o aporte eólico via programa computacional.

1.3 Justificativa

As fontes renováveis de energia elétrica têm se mostrado uma real alternativa para o fornecimento da eletricidade, especialmente as fontes solares e eólicas, principalmente em regiões isoladas onde, em muitos casos, o atendimento por redes elétricas convencionais é

inviabilizado devido a questões de relevo e baixo retorno do investimento das concessionárias. O atual quadro energético do Brasil contribui para a pesquisa na área de fontes de energia renováveis, pois as necessidades de consumo de energia elétrica tendem a aumentar principalmente quando se tem como meta o crescimento econômico do país, o que não é possível ser concebido sem oferta de energia que atenda à demanda. A principal fonte de energia elétrica do Brasil é a hidráulica, mas a idéia de construção de novas usinas hidrelétricas cria controvérsia uma vez que estas são construídas distantes dos grandes pólos consumidores, além de causar grande impacto ambiental quando comparada às fontes renováveis.

Há diversos fatores que influem no custo de implantação de um sistema híbrido eólico-solar como por exemplo, a velocidade média do vento, a demanda diária de eletricidade, a insolação, o número e a qualidade dos módulos fotovoltaicos, dentre outros. Neste trabalho, pretende-se desenvolver um modelo matemático que estime o custo de implantação de um sistema híbrido eólico-solar de pequeno porte em diversos cenários permitindo, assim, a escolha de uma configuração que otimize o custo com a máxima eficiência energética. Essa necessidade surgiu quando da instalação pioneira de um sistema híbrido eólico-solar em um poço de petróleo no Estado do Ceará, concluído no ano de 2006 (PETROBRAS, 2007), tendo um motor elétrico para elevação do petróleo à superfície de 3 HP, onde verificou-se que, para os demais poços, havia diferenças no custo de instalação devido aos fatores anteriormente mencionados.

O uso da energia solar e eólica para o bombeamento de petróleo substitui o motor a diesel, que num sistema convencional funciona vinte quatro horas diárias. Essa substituição contribui, embora em pequena proporção, para a redução das emissões de gases à atmosfera, mas, uma vez estendido a muitos poços de petróleo no mundo, pode contribuir em maior escala para a redução do aquecimento global. Segundo a ONU (www.mnp.nl/ipcc/), maiores temperaturas ocorrerão se o mundo continuar a depender dos combustíveis fósseis. Portanto, o uso de fontes alternativas diminui a dependência de energia originária de combustíveis fósseis.

CAPÍTULO 2

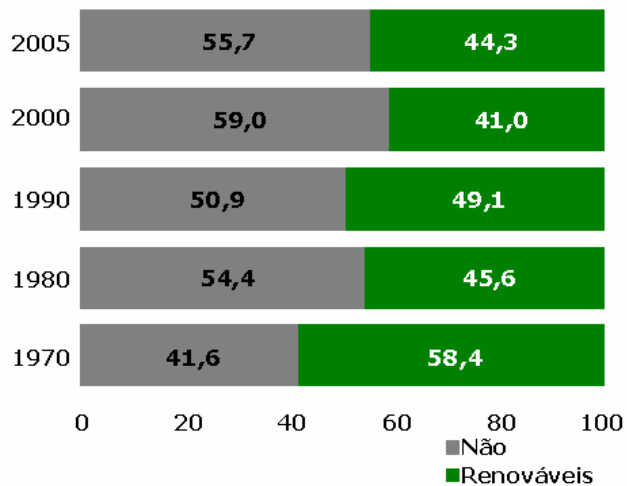
ESTADO DA ARTE

2.1 A Geração de Energia Elétrica no Brasil

Apesar da disseminação de parques eólicos, a produção de energia elétrica no Brasil ainda é com grande relevância a hidráulica, pois apresenta as vantagens de alta eficiência e baixos custos operacionais, sendo desvantajosa a sua produção para grandes distâncias dos centros consumidores (por exemplo, a região Sudeste), o que ocasiona alto custo de investimento. Além disso, tem um altíssimo custo ambiental, principalmente na região Amazônica, onde se encontra o maior potencial hidráulico brasileiro que, segundo a ANEEL, representa 44% do potencial nacional (Balanço Energético Nacional, 2006). Nesse sentido, vale ressaltar que atualmente se torna inviável a exploração desse potencial para a geração de energia elétrica.

Segundo Costa (1999), os sistemas convencionais de fornecimento de energia elétrica, desenvolvidos principalmente por meio de unidades de produção e distribuição altamente centralizadas, nem sempre se apresentam como a melhor opção para satisfazer as necessidades do setor rural. Isso se deve, em grande parte, ao alto nível de dispersão das populações das zonas rurais e às baixas demandas de energia, já que as atividades econômicas dessas populações, em geral, são muito reduzidas. A dificuldade de acesso a comunidades afastadas, o tamanho das propriedades e a baixa renda familiar também contribuem para que seja técnica e economicamente inviável proporcionar eletricidade a essa zona por meio da extensão da rede elétrica. Os custos da geração de energia elétrica para o setor rural - mediante a adoção de métodos convencionais - são elevados, uma vez que o transporte e a distribuição acabam se tornando mais dispendiosos em relação à própria geração. Segundo a Companhia de Serviços Elétricos do Rio Grande do Norte - COSERN, o custo médio de implantação de uma rede de distribuição elétrica por quilômetro corresponde a R\$ 19.000,00, valor esse que, considerando longas distâncias e locais de consumo isolados com baixo consumo, é considerado economicamente inviável. Entretanto, com incentivos do governo e por meio de projetos sociais, se torna possível a implantação de linhas de distribuições elétricas em comunidades isoladas.

Segundo o Balanço Energético Nacional publicado em 2006, ocorreu um acréscimo de 4,6% no consumo de energia elétrica por consumidores livres e cativos no ano de 2005, tomando como base o ano de 2004. A oferta total atingiu 218,6 milhões de toneladas equivalentes de petróleo, sendo que 44,5% correspondem à oferta interna renovável que, embora considerada uma das mais altas do mundo, entre 2004 e 2005 cresceu apenas 0,8%. A geração de energia renovável de 16,8% a mais do que as fontes não renováveis no ano de 1970 é explicada devido à crise do petróleo (Figura 01). Já em 2005, a diferença é de 11,4% a mais para as fontes não renováveis, mesmo assim pode ser considerado um grande avanço, pois em 2005 o país ficou próximo de atingir a alta suficiência em produção de petróleo. Em 2000, a diferença era de 17,9% de vantagem para as fontes não renováveis, e o país não estava tão próximo de atingir a alta suficiência na exploração do petróleo. O Brasil necessita intensificar mais suas pesquisas em busca de outras fontes de energia, mesmo combinando as fontes renováveis com as não renováveis, em que se tem não só o adição do álcool na gasolina, mas também a produção de óleos vegetais a serem adicionados ao diesel (biodiesel), o que estimula o crescimento socioeconômico principalmente na zona rural. Não se pode pensar em crescimento econômico de um país sem investir na produção de energia, pois é de fundamental importância uma política energética bem definida.



Fonte: Balanço Energético Nacional (2006)

Figura 01: Evolução da participação das fontes de energia

2.2 Sistemas Híbridos Instalados

O primeiro sistema híbrido Eólico-Solar-Baterias de 50 kW foi instalado em 1997, na vila de Joanes, localizada no município de Salvaterra, na ilha de Marajó (Pará). Esse sistema é baseado em um conversor rotativo (motor DC acoplado com alternador síncrono), em vez de um inversor eletrônico para conversão de energia. Ele é composto de quatro turbinas eólicas de 10 kW fornecida por Bergey Windpower e 10 kW em módulos fotovoltaicos (CRESESB, 1997).

Segundo García (2004), a Universidade Federal do Rio Grande do Sul montou, no Laboratório de Energia Solar, um sistema híbrido eólico-solar no município de Porto Alegre para estudos experimentais sobre o comportamento do sistema. Esse foi composto de um aerogerador de 400 W (modelo Air 403) e um painel com oito módulos fotovoltaicos de silício monocristalino com potências de 46 a 65 W (modelo Siemens), além de um controlador de carga, banco de baterias e inversor. O sistema possuía ainda um barramento, conforme evidência a Figura 22. No experimento foi utilizado um túnel de vento de oito metros de comprimento e 1,35 de diâmetro para acionar o aerogerador (Figura 02), pois o laboratório localiza-se dentro de um vale.



Figura 02: Sistema híbrido experimental (GARCÍA, 2004)

A UFPE instalou na área de testes do Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE) um sistema para produção de eletricidade eólico-solar que possuía a finalidade não só de estudar a

tecnologia do sistema híbrido, bem como o seu funcionamento por meio de medidas experimentais em várias condições. Este possuía um aerogerador tipo BWC 1500-R24 da Bergey Windpower, um painel com seis módulos fotovoltaicos de silício policristalino com 60 W cada, modelo MSX-60, fabricados pela Solarex, central de controle e banco de baterias composto por duas baterias automotivas. Com base em dados da velocidade média do vento - medida a cada cinco minutos e registrada em um programa computacional desenvolvido no ambiente LabVIEW -, Farias (2000) ajustou um modelo matemático para estimar a potência do aerogerador no local e, posteriormente, comparou com as informações do fabricante, o ajuste obteve coeficiente de determinação de 0,8453.

Modelo ajustado:

$$P_e = 11.894v^2 - 54.386v + 46.326 \quad (1)$$

onde: P_e = é a potência estimada da turbina

v = a velocidade média do vento.

Costa (2001) analisou os componentes individuais além do comportamento do sistema híbrido como um todo, a fim de obter o balanço energético do sistema híbrido eólico-solar da Estação terrena da Embratel, composto por uma turbina eólica BWC Excel-R Bergey 10 kW, noventa e seis módulos de 45 W cada, modelo HM-45D12, cento e quinze baterias eletroquímicas LCPSD-15 C&D, 2V/2310Ah/C500 cada e três reguladores/retificadores. Esse sistema foi projetado pelo CBEE e está em operação desde 1997 na Ilha de Fernando Noronha(PE). Foi desenvolvido no transcorrer do estudo de Costa um programa computacional baseado na linguagem científica MatlabTM com o objetivo de simular e estimar o balanço de energia, a produção das fontes renováveis, o atendimento às cargas, o fluxo de entrada/saída do banco de baterias, o excedente de energia e a vida útil efetiva do banco de baterias. Costa prossegue analisando um estudo de caso com residência rural, sendo um sistema eólico-solar configurado para atender a duas típicas residências do meio rural, com consumo mensal de 124 kWh e pico de consumo de 0,82 kW. Neste novo estudo, Costa, além de analisar os itens referidos no sistema da Embratel, comparou o custo da implantação do sistema com a estimativa do custo da instalação de redes convencionais de energia elétrica. Configurou o sistema com uma turbina eólica BWC1500 Bergey, 1,5 kW, seis módulos fotovoltaicos de 60 W cada (modelo MSX-60 Solarex), um controlador Ananda Powercenter 5, dois inversores, central de cargas, um regulador/retificador e um banco de baterias eletroquímicas de ciclo profundo 24V/420Ah/C20.

Em outro estudo de caso, na Estação Rádio Base Celular, Costa utilizou um sistema eólico-solar configurado com dois aerogeradores 29-20 Jacobs, 20 kW, dez módulos SR-100 Siemens de 100 W cada, um banco de baterias eletroquímicas 24V/1700Ah/C20, um inversor de frequência e um controlador central. Esse estudo comparou o custo do sistema híbrido com a extensão da rede elétrica em linhas de distribuição trifásica 13,8 kV, com Subestação Elétrica de 30 kVA e um gerador diesel de 10 kW de potência nominal em regime de operação contínua.

No Ceará, a PETROBRAS está empregando sistema híbrido eólico-solar na geração de energia elétrica, método pioneiro aplicado no poço terrestre da Fazenda Belém (Figura 03). Este sistema substitui o motor a diesel utilizado para o acionamento da unidade de bombeio, em que não há eletricidade. O sistema é composto por um aerogerador e um conjunto de módulos fotovoltaicos que alimentam o banco de baterias, os controladores e o inversor. Quando o nível de petróleo atinge a sucção da bomba, o motor é automaticamente desligado, evitando o desperdício de eletricidade e, ao subir o nível do óleo no poço, o motor entra em funcionamento automaticamente. O poço em operação produz diariamente dez barris de petróleo (PETROBRAS, 2007). A tecnologia é resultado de um projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) coordenado pela Elevação Técnica da UN-RNCE e desenvolvido pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), com participação do Ativo de Produção Mossoró (Notícias UN-RNCE, 2006).



Figura 03: Sistema híbrido eólico-solar (PETROBRAS, 2007)

CAPÍTULO 3

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 O Sol

O Sol é considerado uma estrela intensamente quente, formada por gases com diâmetro de $1,39 \times 10^9$ m e encontra-se aproximadamente a $1,5 \times 10^{11}$ m da Terra. Ele gira uma vez sobre o seu próprio eixo a cada quatro semanas, porém não como um corpo sólido; ele leva 27 dias para passar sobre a linha do Equador e 30 dias na região polar para cada rotação. A temperatura na região central é variavelmente estimada entre 8×10^6 a 40×10^6 K. Entre as várias reações de fusão que têm sido sugeridas para explicar a energia radiante do Sol, é considerada a mais importante a combinação do hidrogênio com o hélio, em que a massa do núcleo do hélio é menor do que quatro prótons, sendo perdida na reação e conversão de energia.

Essa energia é produzida no interior da esfera Solar com a temperatura em milhões de graus, a qual é transferida para fora da superfície radiando o espaço (DUFFIE; BECKMAN, 1980).

3.1.1 Movimento Anual do Sol

A Terra possui um movimento em torno do Sol chamado de translação, descrevendo uma trajetória na esfera celeste conhecida como eclíptica e que tem uma inclinação do eixo de rotação da Terra com relação a sua órbita (ângulo obliquidade) de $23^{\circ}27'$ em relação ao Equador celeste, o qual origina as estações do ano (Figura 04). À medida que a Terra orbita em torno do Sol, os raios solares incidem mais diretamente em um hemisfério, proporcionando mais luz e aquecimento do que em outro. No Equador, as estações são muito parecidas, pois a altura solar ao meio-dia no decorrer do ano não muda muito ($21^{\circ}06'$ a $23^{\circ}09'$), visto que em todos os dias o Sol fica doze horas acima do horizonte e doze horas abaixo do horizonte, caracterizando a região com máxima capacidade para absorção da energia solar. Na medida em que a Terra se afasta do Equador, as estações ficam mais definidas e a diferença entre elas se torna máxima nos pólos.

A região na Terra entre as latitudes $-23,5^\circ$ e $+23,5^\circ$ é chamada de região tropical, onde o Sol passa pelo zênite pelo menos uma vez por ano. Já na linha de latitude $66,5^\circ$, conhecida como círculo polar norte ou sul, o Sol está sempre acima do horizonte no verão e sempre abaixo no inverno.

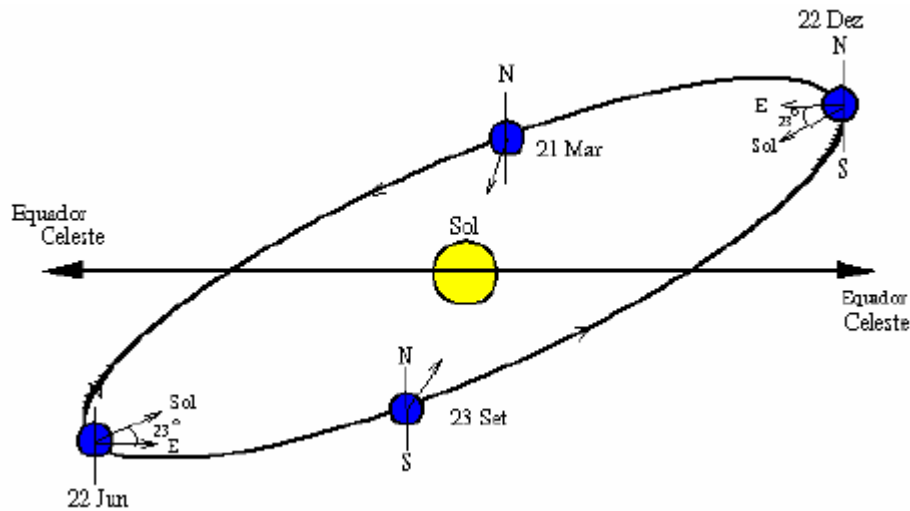


Figura 04: Movimento anual do Sol.

3.1.2 Posições Características do Sol

A posição do Sol é de fundamental importância não só no que diz respeito à orientação geográfica, mas acima de tudo para economizar e gerar energia elétrica. Devem ser construídas edificações no hemisfério Sul, de modo que as janelas estejam direcionadas para o Noroeste ou Nordeste, a fim de que a luz do Sol no inverno incida sobre elas, aquecendo o ambiente pela manhã ou pela tarde. Na direção Sudeste e Sudoeste, devem se plantar árvores, para que façam sombras sobre as janelas no verão. Da mesma maneira, os telhados devem, em princípio, ser inclinados para o norte, para aquecer durante o inverno.

Na Figura 05 pode ser observado que, aproximadamente aos 21 dias do mês de março a zero hora e a declinação a 0° , o dia e a noite duram 12 horas na Terra e 24 horas de crepúsculo Equinócio (lat: equi=igual+nox=noite) de outono no hemisfério Sul, e Equinócio de primavera no hemisfério Norte. Aos 22 dias de junho o Sol encontra-se na máxima declinação norte às 6 horas e $\delta = +23,5^\circ$, incidindo diretamente na região do Trópico de Câncer na Terra. Por conseguinte, o dia torna-se o mais curto do ano no HS e o mais longo do ano no HN. No pólo Sul, o Sol sempre se encontra abaixo do horizonte e no pólo Norte o Sol

sempre está acima do horizonte, Solstício (lat: Sol+ sticium=parado) de inverno no HS e Solstício de verão no HN. Em 23 de setembro, o Sol cruza o Equador celeste, se deslocando do HN para o HS às 12 horas com $\delta = 0^\circ$, o dia e a noite na Terra duram 12 horas sendo nos pólos 24 h de crepúsculo, Equinócio de primavera no HS e Equinócio de outono no HN. Em 22 de dezembro, o Sol encontra-se na máxima declinação Sul incidindo diretamente na região do Trópico de Capricórnio na Terra às 18h e $\delta = -23,5^\circ$, o dia é o mais longo do ano no HS e o mais curto no HN. No pólo Sul, o Sol está sempre acima do horizonte e no pólo Norte está sempre abaixo do horizonte, o que corresponde ao Solstício de verão no HS e ao Solstício de inverno no HN.

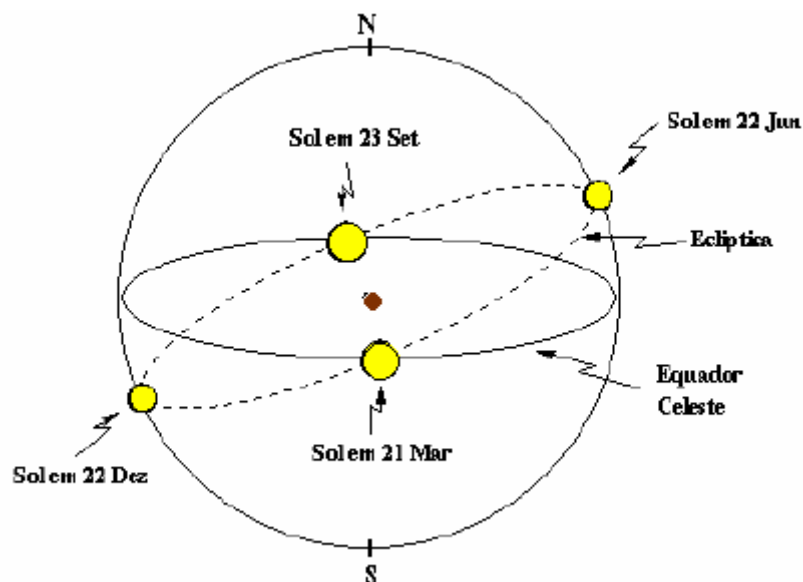


Figura 05: Posições características do Sol.

3.2 Cálculo do Ângulo de Incidência

A determinação do ângulo de incidência em uma superfície coletora é de fundamental importância para que o aproveitamento da radiação solar seja máxima na secagem de sementes, no aquecimento d'água e na geração de energia elétrica, dentre outros. A Figura 06 mostra os ângulos que devem ser observados antes da aplicação da Equação (3).

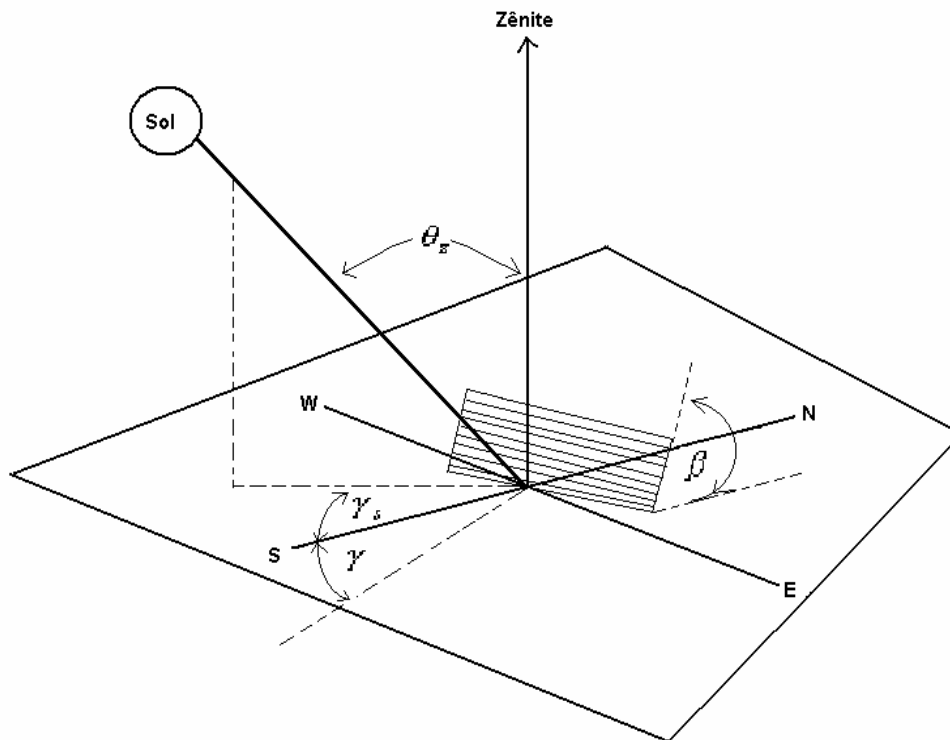


Figura 06: Ângulo zênite, ângulo da superfície azimute e o ângulo azimute solar para superfície inclinada.

Na instalação de painel fotovoltaico, objetivando sua máxima captação de raios solares, deve-se considerar não só o ângulo de declinação (DUFFIE; BECKMAN, 1980), bem como o ângulo de incidência da radiação direta.

O cálculo do ângulo de declinação pode ser obtido pela equação de Cooper:

$$\delta = 23,45 \operatorname{sen} \left(360 \frac{284 + n}{365} \right) \quad (2)$$

O ângulo de incidência da radiação direta pode ser encontrado pela equação:

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \operatorname{sen} \delta \operatorname{sen} \phi \cos \beta - \operatorname{sen} \delta \cos \phi \operatorname{sen} \beta \cos \gamma \\ & + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega \\ & + \cos \delta \operatorname{sen} \phi \operatorname{sen} \beta \cos \gamma \cos \omega \\ & + \cos \delta \operatorname{sen} \beta \operatorname{sen} \gamma \operatorname{sen} \omega \end{aligned} \quad (3)$$

Latitude (ϕ): posição angular do observador em relação ao equador terrestre, sendo positivo ao norte e negativo ao sul (máximos $\pm 90^\circ$).

Longitude (L): arco do Equador terrestre compreendido entre o meridiano que passa por Greenwich e o meridiano que passa pelo observador. Varia de 0° a 180° Leste ou Oeste, a partir de Greenwich.

Declinação (δ): ângulo formado entre a direção dos raios solares (ao meio-dia solar) e o plano do Equador ($-23,45^\circ \leq \delta \leq +23,45^\circ$). É devido ao fato de o eixo de rotação da Terra apresentar uma inclinação permanente de $23,45^\circ$ em relação ao plano da trajetória de translação. O *meio-dia solar* é o instante em que o meridiano do observador cruza a linha que une os centros do Sol e da Terra (linha Sol-Terra).

Ângulo horário (ϖ): distância angular com base no centro da Terra entre a longitude do ponto considerado e a posição do meio-dia solar correspondente. É considerado negativo pela manhã e positivo à tarde; ao meio-dia ($\varpi = 0^\circ$) (máximos $\pm 180^\circ$), avançando 15° a cada hora.

Ângulo de incidência (θ): é o ângulo formado entre a normal a uma superfície e a direção dos raios solares.

Ângulo de inclinação da superfície (β): é o ângulo formado entre o plano horizontal e a superfície em questão.

Ângulo de azimute de superfície (γ): a diferença da projeção da normal à superfície, em um plano horizontal, a partir do meridiano local.

Parte da radiação é refletida pela superfície do solo devido à inclinação, sendo a fração refletida dependente do coeficiente de reflexão da superfície. A relação entre a radiação refletida e a radiação incidente é denominada de “albedo”, o qual apresenta valores constantes, embora algumas superfícies estejam fortemente correlacionadas com a altura solar, como, por exemplo, o espelho (GARCÍA, 2004).

Tabela 02: Albedo de algumas superfícies

Superfície	Albedo %	Superfície	Albedo %
Água (Sol alto)	3 – 7	Gelo no mar	30 – 40
Água (Sol baixo)	15 – 65	Neve fresca	75 – 95
Areia	20 – 40	Neve velha	40 – 70
Areia amarelenta	35	Nuvens	30 – 85
Areia branca	34 – 40	Planeta Terra	32
Areia de rio	43	Rodovia preta	5 – 10
Areia gris	18 – 23	Terra arada umedecida	14
Areia ligeira fina	37	Terra cultivada	10 – 30
Bosques	10 – 18	Terra gris seca/umedecida	25 – 30 / 10 – 20
Desertos	25 – 30	Terra sem vegetação	4 – 25
Ervas	16 – 26	Terra negra seca/umedecida	14 / 8
Floresta de coníferas	5 – 15	Tundra	15 – 20
Gelo glacial	20 – 40		

Fonte: GARCÍA (2004).

3.3 Sistema Fotovoltaico Autônomo

Segundo Reis (2003), os sistemas fotovoltaicos para geração de energia elétrica são compostos por agrupamentos de módulos em série e paralelo em painéis fotovoltaicos, bem como outros equipamentos convencionais que possam armazenar a energia gerada quando o sistema não está interligado à rede de distribuição convencional ou equipamentos de transformação. Os principais componentes de um Sistema Fotovoltaico são: módulos fotovoltaicos, regulador de tensão, sistema de armazenamento de energia, inversor de corrente contínua em corrente alternada e chave de proteção do banco de baterias, se for o caso. A seguir, ter-se-á o esquema de um sistema fotovoltaico (ALDABÓ, 2002):

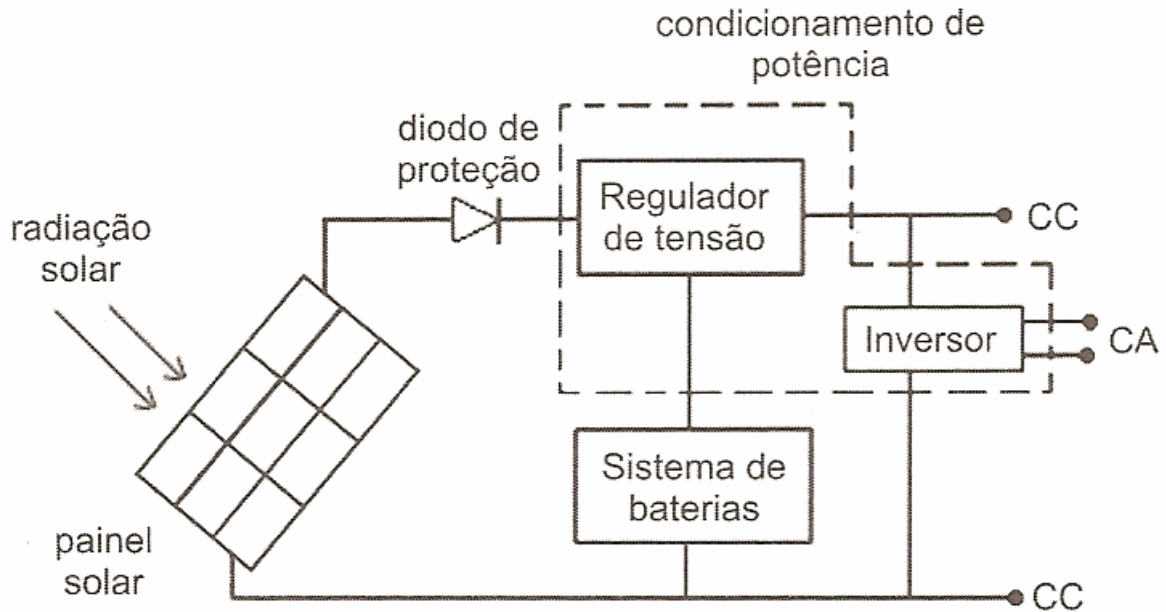


Figura 07: Esquema de um sistema fotovoltaico básico

A potência gerada num sistema fotovoltaico pode ser obtida por meio da equação (4) proposta por Reis (2003), segundo a qual a radiação solar incidente na superfície em função do tempo e o rendimento total do sistema é composto pelo rendimento do painel solar mais o rendimento do sistema de condicionamento da potência.

$$P_g = \eta \times A_p \times R_s \quad (4)$$

3.3.1 Módulos Fotovoltaicos

O efeito fotovoltaico, que é devido à interação entre fótons e elétrons que estão em torno do núcleo do átomo, foi observado pelo físico francês Edmond Becquerel, em 1839. Segundo Hecktheuer (2001), ocorreram no início do século XX descobertas sobre as propriedades do óxido de cobre, em que o fenômeno da conversão direta da energia solar em elétrica foi observado. Contudo, somente em 1954, foi fabricada a célula de silício com apenas 6% de eficiência. As tecnologias de fabricação de células fotovoltaicas obtiveram grande avanço em 1958 com o programa espacial, em que todo satélite levado ao espaço possuía módulo fotovoltaico para gerar energia elétrica ao satélite. Posteriormente a tecnologia fotovoltaica foi utilizada também em aplicações terrestres, principalmente em regiões remotas onde as transmissões da energia elétrica pelos métodos convencionais são inviáveis seja pelo alto custo ou devido ao relevo. Com a crise mundial do petróleo na década de 70 intensificaram-se as pesquisas na área fotovoltaica, objetivando substituir a geração de

eletricidade com combustíveis fósseis, mas somente em 1994 a produção mundial de módulos fotovoltaicos atingiu 70 MWp.

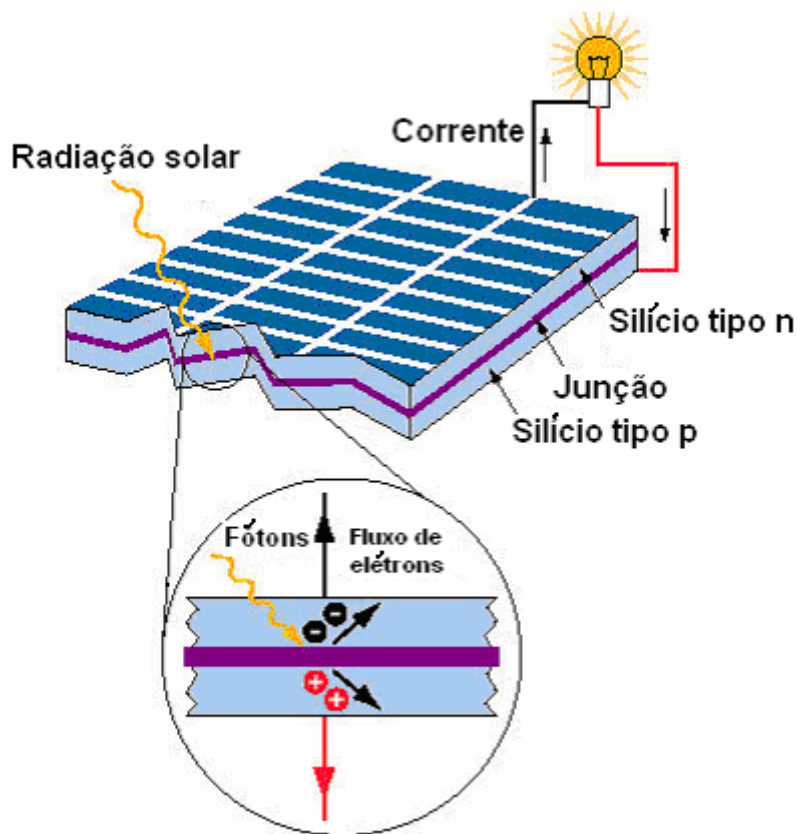


Figura 08: Conversão direta da radiação solar em eletricidade

3.3.2 Tipos de Fotocélulas

Atualmente existem no fabrico de módulos fotovoltaicos três tipos de fotocélulas:

- Silício monocristalino (c-Si): são células obtidas a partir de barras cilíndricas de silício monocristalino cortando-as na forma fina quadrada (0,4 – 0,5 milímetros de espessura), em que sua eficiência de conversão da energia solar em elétrica varia aproximadamente entre 16% e 23% em laboratório, contudo as técnicas utilizadas na sua produção são complexas e caras, o que torna o custo de venda elevado.

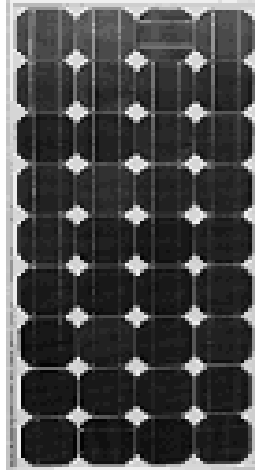


Figura 09: Módulo fotovoltaico com silício monocristalino

- Silício Policristalino (μ -Si): estas células são obtidas a partir de blocos de silício resultantes da fusão de fragmentos de silício puro em moldes especiais. Os moldes esfriam lentamente, solidificando. Nesse processo, os átomos se organizam em um único cristal, formando uma estrutura policristalina com superfícies de separação entre os cristais. Possui um custo inferior quando comparado às células monocristalinas por necessitar de menos energia no seu fabrico. Apresenta rendimento de conversão de 11% a 13% e atinge até 18% em laboratório. Essa redução do rendimento é atribuída à imperfeição do cristal devido ao sistema de fabricação.

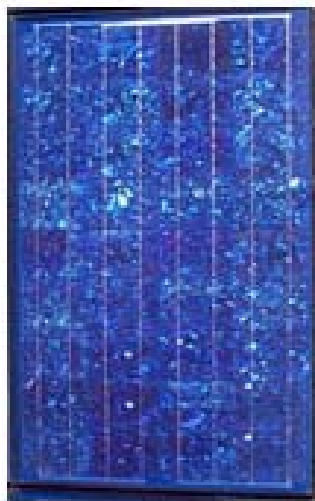


Figura 10: Módulo fotovoltaico com silício policristalino

- Silício amorfo (a-Si:H): São células obtidas mediante a deposição de capas muito delgadas de silício sobre a superfície do vidro e metais. É a que apresenta um custo mais

reduzido tanto no fabrico como na venda, porém o seu rendimento aproximado é de 8% a 10%, podendo chegar a 13% em laboratório.



Figura 11: Módulo fotovoltaico com silício amorfo

3.3.3 Potência Máxima dos Módulos Fotovoltaicos

A potência máxima é definida pela curva característica $I=f(V)$ com as coordenadas I_M e V_M , portanto $P_{MAX} = (I_M \times V_M)_{MAX}$. (5)

Na Figura 12 observa-se que a corrente decresce lentamente até atingir o ponto de declinação, que corresponde ao ponto de máxima potência.

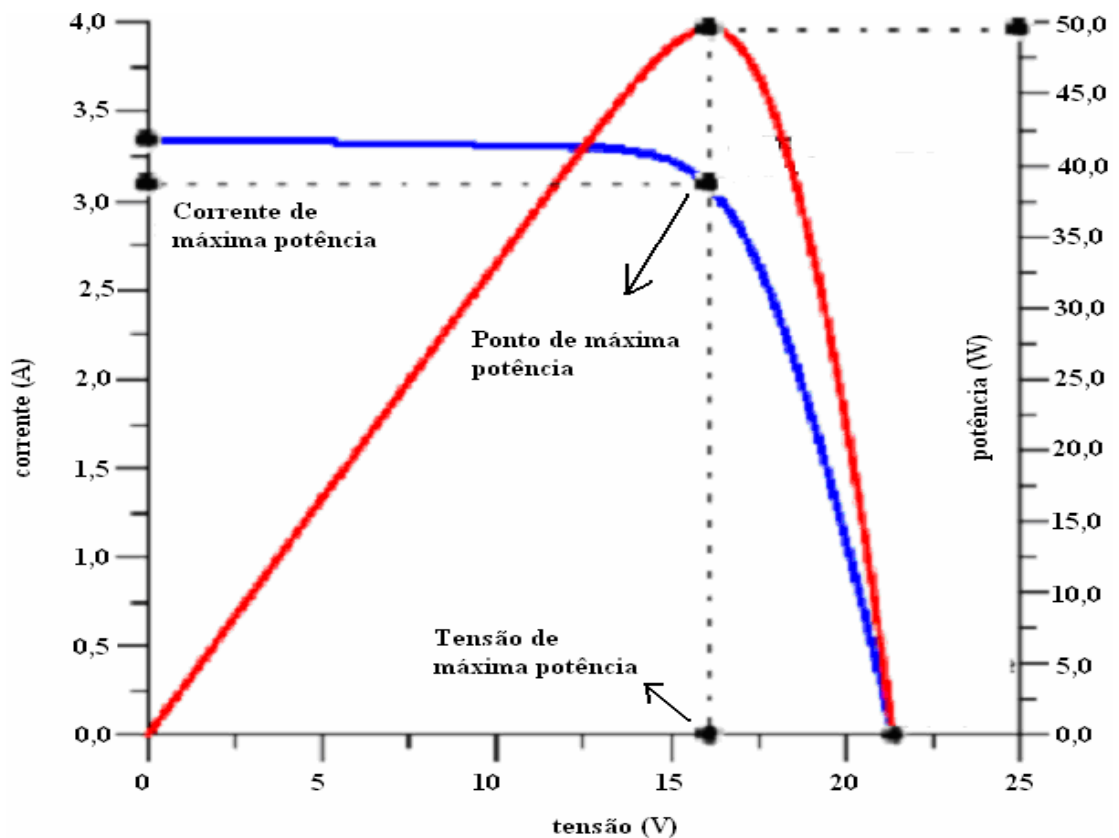


Figura 12: Curva característica I-V de um módulo fotovoltaico.

3.4 O Vento

A radiação solar é considerada a causadora da massa de ar em movimento. O eixo de rotação da Terra está inclinado em $23^{\circ} 45'$ em relação ao plano de órbita em torno do Sol (Figura 04), o que proporciona maior intensidade anual de radiação solar nas regiões equatoriais do que nas regiões polares. Essa diferença provoca o movimento da massa de ar (vento). O comportamento do vento é totalmente variado, pois a sua ocorrência ou não depende do local, da estação do ano, da superfície da terra, portanto, caracterizar o vento é primordial quando se deseja gerar energia elétrica por meio de uma turbina eólica.

Segundo Farias (2000), os ventos são classificados como planetário e locais. A radiação solar absorvida pelo solo é transmitida à atmosfera por convecção ou condução. Próximo ao Equador ocorre a maior absorção e conseqüentemente causa diferença na densidade do ar, causando variações nas pressões atmosféricas, de tal forma que a pressão do ar é maior sobre os Pólos em comparação com a pressão sobre o Equador. Por essa razão, as massas de ar frio são deslocadas dos Pólos em direção ao Equador, substituindo o ar quente que surge nos Trópicos. Esse fenômeno, denominado de vento planetário, ocorre tanto no hemisfério Norte como no Sul. Já os ventos locais, também produzidos devido ao aquecimento uniforme da terra, mares, lagos e rios, são gerados diariamente a cada instante, mudando freqüentemente de direção e velocidade, sendo de grande relevância no estudo para a geração de eletricidade através de aerogeradores, por causar potências eólicas locais. Durante o dia, o ar sobre a terra reflete para a atmosfera mais energia do que a superfície da água, sendo invertido ao anoitecer (FARIAS, 2000).

O vento pode variar interanual, anualmente, diariamente e em curto prazo. Para se obter a velocidade média do vento interanual confiável, recomenda-se ter dados do vento pelo menos de cinco anos para estimar a energia elétrica produzida pelo aerogerador. É importante ressaltar que a energia produzida por uma turbina eólica é proporcional ao cubo da velocidade, entretanto, a média anual de energia de um ano para outro varia mais que a variação da velocidade do vento. A variação anual da velocidade do vento é de fundamental importância quando se deseja selecionar um local para aporte eólico, podendo a dez metros de altura variar de 1 m/s a 10 m/s, sendo para um bom aproveitamento eólico velocidades médias a partir de 5 m/s (FARIAS, 2000). Para se obter a velocidade média diária do vento, dados de um ano já são considerados aceitáveis para análise, mas não são ideais para estudos da amplitude da oscilação diurna tanto quanto do tempo do dia em que ocorre pico de ventos, visto não poderem ser precisamente determinados. As variações diárias e sazonais do vento

afetam bastante a capacidade das turbinas eólicas de suprir picos de cargas de uma rede utilitária. Segundo Farias, quando o pico de carga (carga básica mais cargas suplementares) ocorre durante o dia, a carga básica pode ser suprida pelo sistema existente e a carga suplementar pode ser suprida pela turbina eólica. Entretanto, se durante o dia os ventos não forem fortes, um aerogerador pode não ser economicamente viável para o uso.

Em poços de petróleo, o pico de carga pode ocorrer a qualquer instante dependendo do nível de óleo no poço para sucção, onde o sistema híbrido eólico-solar em estudo nesta dissertação supre toda a carga. Normalmente no estudo da velocidade do vento para aplicabilidade eólica, há dois intervalos: de 10 minutos e de 3 segundos. O primeiro é estimado usando um padrão de amostragem em que é medida a velocidade do vento em um segundo, retirando a média da velocidade num intervalo de dez minutos. Intervalos de dez minutos são usados para determinar a “performance” de uma turbina eólica em termos de energia produzida, já para intervalos de 3 segundos estabelecem-se dados da rajada máxima e da turbulência, que são eventos rápidos. A estrutura da rajada influencia o comportamento da turbina eólica, portanto, as turbulências e rajadas devem ser cuidadosamente analisadas (FARIAS, 2000).

3.5 Sistema Eólico Autônomo

É um sistema que tem a função de não só retirar parte da energia contida nos ventos por meio de aerogerador para produzir energia elétrica, mas também pode ser utilizado para transformar a energia cinética em energia mecânica, não sendo necessário aerogerador.

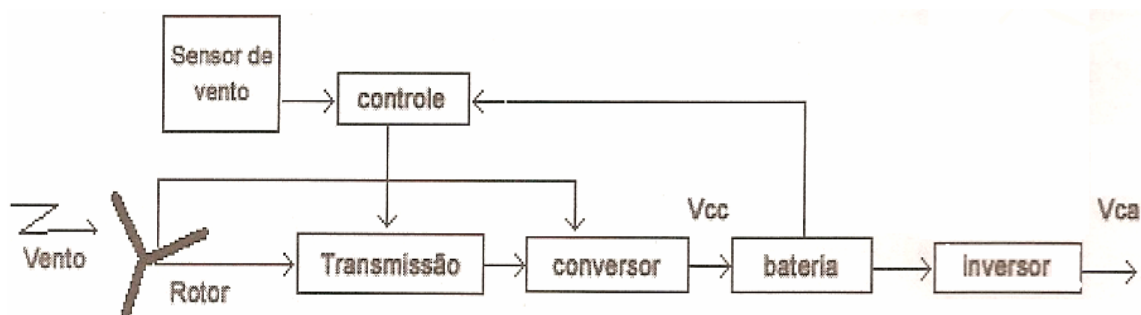


Figura 13: Diagrama de um sistema eólico

3.5.1 Turbinas Eólicas

Turbina eólica ou aerogerador é uma máquina que absorve parte da potência cinética contida nos ventos através de um rotor aerodinâmico, que converte a potência mecânica (torque x rotor) em potência elétrica (tensão x corrente) por meio do gerador elétrico. Possui os mesmos princípios físicos que os tradicionais cata-ventos multipás conectados a alternadores, diferindo apenas em relação aos aspectos tecnológicos, pois a turbina eólica resultou de pesquisas na aerodinâmica e aerolásticas, que produziram melhores rendimentos e maior tempo de vida útil que os cata-ventos. A energia cinética de massas de ar em movimento, na forma de vento, pode ser calculada por:

$$E = \frac{m \times v^2}{2} \quad (6)$$

A potência é igual ao trabalho dividido pela variação do tempo $P_d = \frac{dW}{dt}$, (7)

mas o trabalho realizado pelo vento, neste caso, é igual a energia cinética $W = E$, então:

$$P_d = \frac{\frac{dm \times v^2}{2}}{dt} = \frac{dm \times V^2}{2dt} \quad (8)$$

mas, como $\frac{dm}{dt} = \rho \times V \times A$ (9)

temos que $P_d = \frac{\rho \times V^3 \times A}{2}$ (10)

que corresponde à potência total de uma massa de ar com velocidade V , atravessando uma área A .

Segundo Aldabó (2002), a letra A na equação (10) corresponde à área da superfície, normal à direção do vento, ocupada pelo rotor em movimento, a qual é possível ser calculada pela equação a seguir:

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4} \quad (11)$$

Considerando-se o rendimento aerodinâmico (Coeficiente de potência C_p), que significa a fração da potência eólica disponível convertida em potência mecânica no eixo do rotor, é possível obter a potência eólica aproveitável pela equação (12), pois as turbinas eólicas não permitem transformar a totalidade da energia do vento em energia útil.

$$P_a = C_p 0,5 \rho A v^3 N_g \quad (12)$$

Mas o coeficiente de potência e a eficiência do sistema mecânico podem ser substituídos pelo rendimento global do sistema, obtendo assim uma nova equação:

$$P_a = \frac{\rho \times V^3 \times A \times \eta}{2} \quad (13)$$

3.5.2 Coeficiente de Potência

Exprime a porcentagem da potência disponível aproveitada no eixo do rotor. O máximo valor da potência extraída da energia do vento ocorre quando $\frac{V_1}{V_2} = 3$, assim

$C_p = \frac{16}{27} = 0,593$. Esse valor ficou conhecido como Limite de Betz, após o aerodinamicista alemão Albert Betz propor que seria o máximo valor atingível pelo C_p (RIBEIRO, 2006).

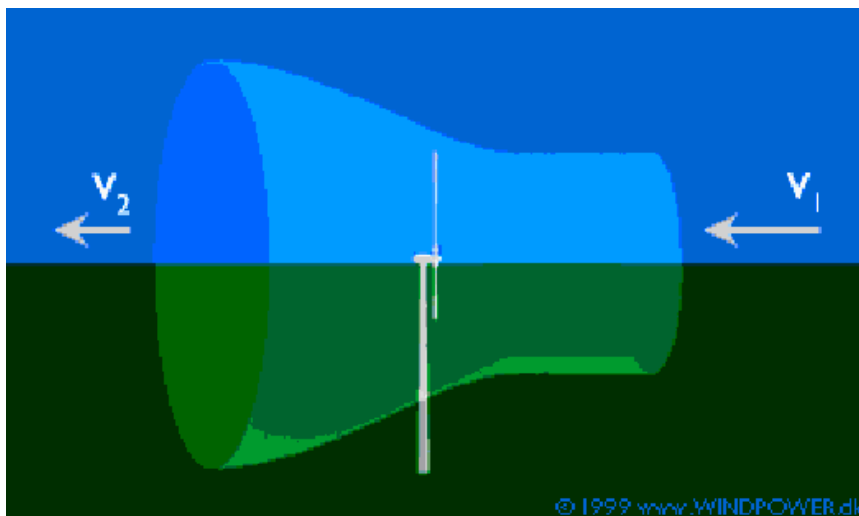


Figura 14: Comportamento do vento antes e após cruzar o aerogerador

Em uma turbina eólica, o rotor é um dos principais componentes. A sua configuração influi diretamente no rendimento global do sistema. Vários projetos de máquinas eólicas foram criados e testados de modo a obter bons rendimentos com custos de operação e fabricação baixos (RIBEIRO, 2006). A Figura 15 mostra o coeficiente de potência de diversos tipos de rotores.

Atualmente, a eficiência global (η) da conversão da energia cinética eólica em energia elétrica é de aproximadamente 30% (REIS, 2003).

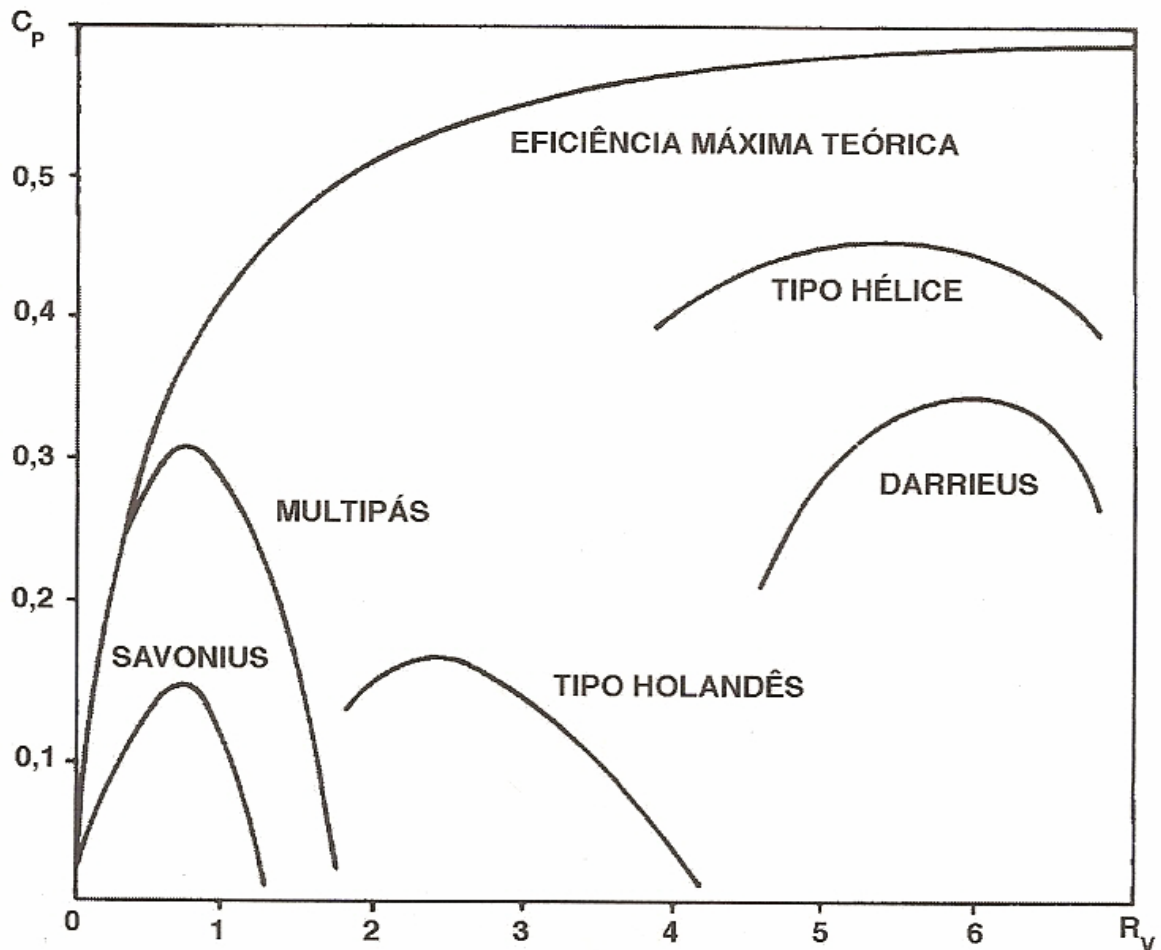


Figura 15: Coeficiente de potência em função da razão da velocidade

A razão de velocidade corresponde à razão entre a velocidade tangencial, na ponta da pá, pela velocidade do vento, que pode ser calculada por:

$$R_v = \frac{\pi DN}{V} \quad (14)$$

Embora velocidade média anual seja um bom parâmetro, pois indica possibilidades para uso de energia eólica (Tabela 03), as médias mensais são bastante úteis, pois possibilitam observar melhor as sazonalidades, o que é de fundamental importância quando a demanda de consumo da energia elétrica é medida mensalmente. A implantação de um sistema puramente eólico poderá não ser eficiente sem o prévio conhecimento do comportamento das correntes de vento. A correlação direta da velocidade do vento em função da altura medida em relação à superfície do solo se deve à fricção entre o ar e o solo. Quanto mais próximo da superfície da terra menor será a velocidade do vento, mas a quantidade de decréscimo depende exclusivamente da rugosidade do solo (Tabela 04). Tomando como exemplo, as áreas descampadas apresentam velocidades maiores quando comparadas às áreas florestais,

montanhosas e edificadas. Em regiões montanhosas tende a canalizar a corrente de ar, ocasionando rajadas de vento.

Tabela 03: Condições de uso da velocidade média anual do vento a dez metros de altura do solo

Velocidade média anual	Possibilidades de uso para energia eólica
Abaixo de 3 m/s	Geralmente não viável, exceto em ocasiões especiais.
De 3 a 4 m/s	Improvável para aerogeradores, mas pode ser uma opção para bombas eólicas.
De 4,1 a 5 m/s	Bombas eólicas podem ser competitivas com bombas à Diesel e viáveis para geradores eólicos isolados.
Mais de 5 m/s e menos de 7 m/s	Viável para bombas eólicas e geradores eólicos isolados.
Mais de 7 m/s	Viável para bombas eólicas, geradores eólicos isolados e conectados à rede.

Fonte: Dados obtidos de KRAUTER (2006).

A mudança da velocidade do vento em função da altura pode ser estimada pela equação:

$$v = V_0 \left(\frac{H_D}{H_C} \right)^{ft} \quad (15)$$

Tabela 04: Fator de rugosidade dos terrenos planos

Descrição do terreno	Fator de rugosidade (<i>ft</i>)
Terreno sem vegetação	0,10
Terreno gramado	0,12
Terreno cultivado	0,19
Terreno com poucas árvores	0,23
Terreno com muitas árvores ou com edificações	0,26
Florestas	0,28
Zonas urbanas sem edificações altas	0,32

Fonte: Dados obtidos de REIS (2003).

Para melhor entendimento, a Figura 16 mostra os componentes de um aerogerador. São mostradas nas Figuras 17 e 18 as turbinas verticais. Nas Figuras 19 e 20 estão indicadas as turbinas horizontais.

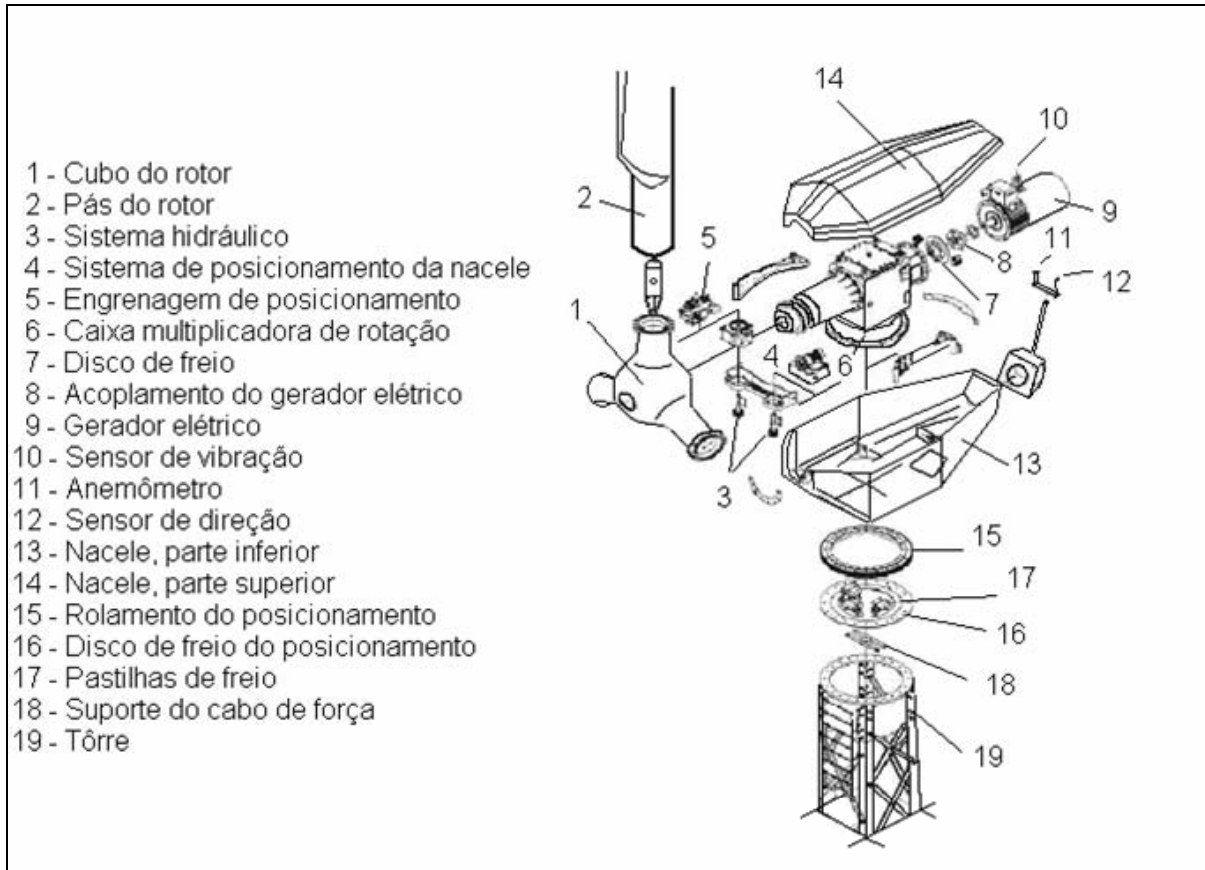


Figura 16: Principais componentes de um sistema de geração eólica (RIBEIRO, 2006).



Figura 17: Turbina Savonius



Figura 18: Turbina eólica Darrieus com rotores de eixo vertical



Figura 19: Turbinas eólicas com rotores de eixo horizontal

Na Figura 19 temos as turbinas eólicas que, quanto ao número de pás, são: uma pá, duas pás, três pás e multipás.



Figura 20: Turbina tipo Holandês.

3.6 Sistema Híbrido

É um sistema composto pelo menos de duas fontes geradoras de energia elétrica que funcionam em conjunto, isto é, tem como finalidade se complementarem, mas será feito referência ao sistema híbrido eólico-solar, que é o objetivo deste trabalho. A utilização de sistema híbrido geralmente se dá quando as condições locais não favorecem que um único sistema eólico ou solar possa atender ou garantir a demanda de energia elétrica. García (2004) utilizou o termo “barramento” ao ponto comum entre os equipamentos dos dois sistemas (Figuras 21 e 22).

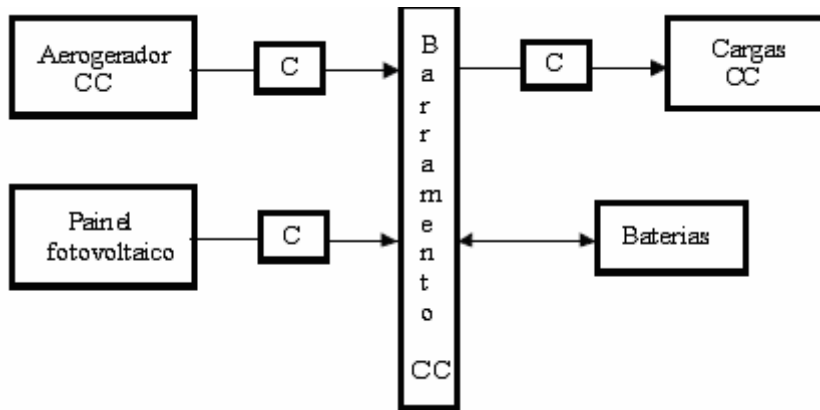


Figura 21: Configuração simples híbrida para corrente contínua (GARCÍA, 2004)

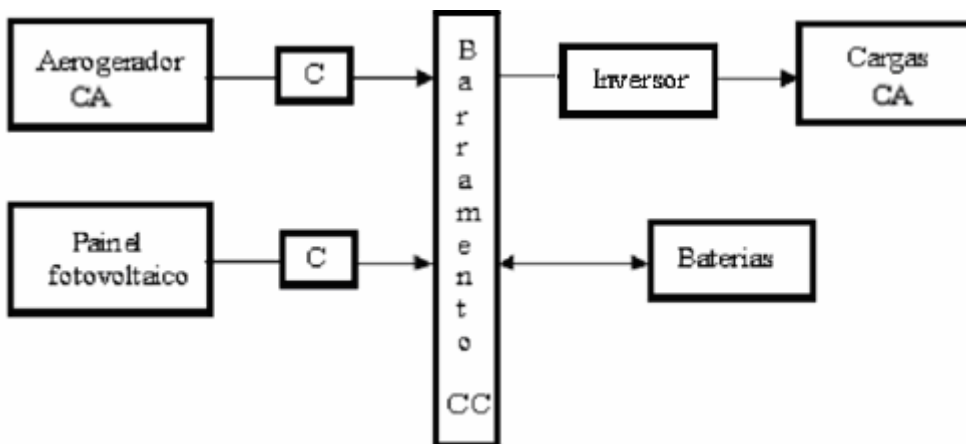


Figura 22: Configuração simples híbrida para corrente alternada (LABDTE, 2007)

A Figura 22 refere-se a uma configuração de um sistema eólico-solar em funcionamento em poço de petróleo no estado do Ceará, instalado em conjunto com a UFRN.

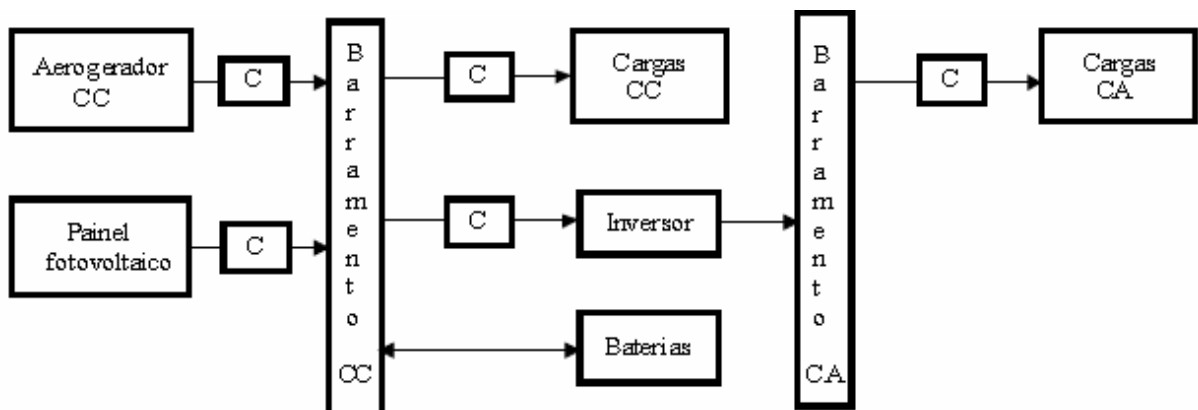


Figura 23: Configuração simples híbrida para CC e CA

Segundo García, na Figura 24 a complexidade é maior devido à existência de dois equipamentos trabalhando em paralelo sobre o barramento de corrente alternada; já na Figura 25 apresenta com vantagem - comparado ao da Figura 24 - o dispositivo retificador na saída do aerogerador de CA.

Caso seja acrescentado mais um aerogerador em paralelo, é importante que parâmetros como potência, carga e frequência sejam harmonizados no sistema.

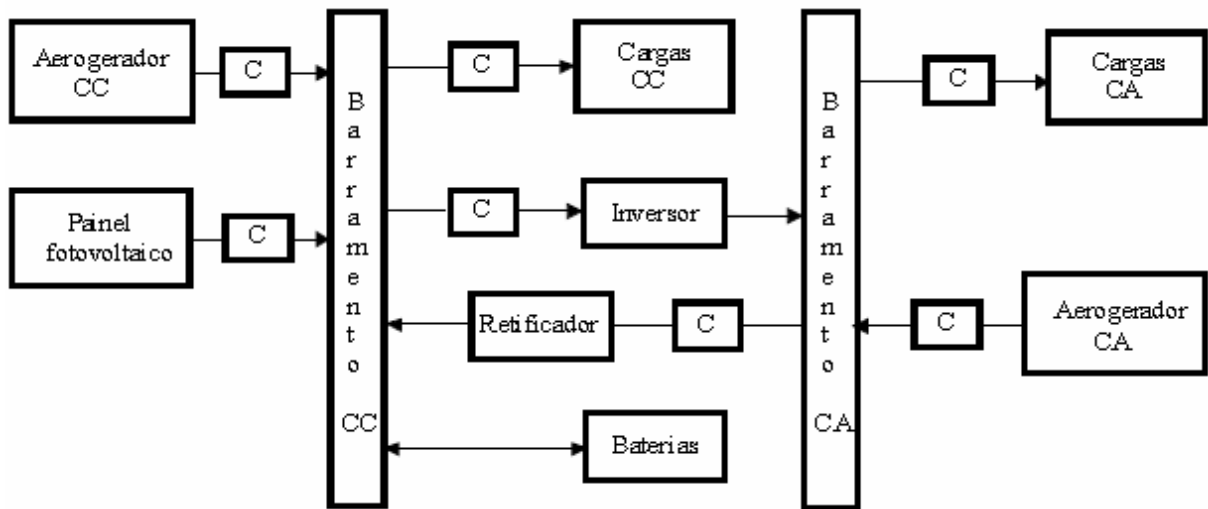


Figura 24: Configuração híbrida com equipamentos funcionando em paralelo nos barramentos CC e CA (GARCÍA, 2004)

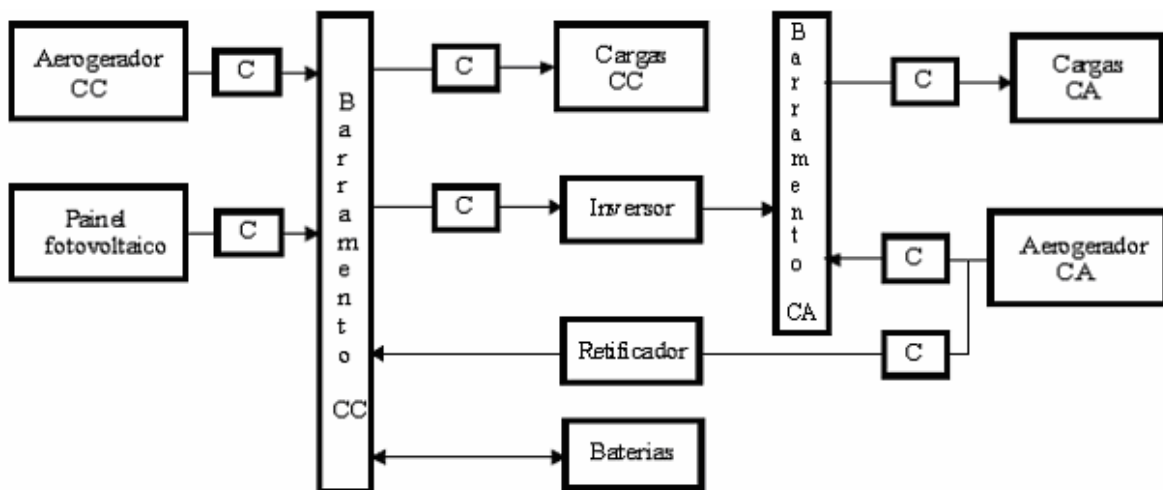


Figura 25: Configuração híbrida com equipamentos funcionando em paralelo nos barramentos CC e CA, tendo o retificador em série com o aerogerador CA (GARCÍA, 2004)

3.6.1 Custo de um Sistema Híbrido (Eólico-solar)

Os principais custos na implantação de qualquer sistema são o custo do investimento, do combustível e da operação e manutenção. No caso de sistema eólico, solar ou híbrido (eólico-solar) não existem custos com o combustível e o custo com operação e manutenção é mínimo, pois com o avanço da tecnologia os sistemas têm requerido menos manutenção, maior tempo de vida útil dos equipamentos e mais eficiência, restando apenas o custo com o investimento, o qual dependendo da localidade isolada, poderá ser até inferior ao custo do investimento em redes convencionais. Toda via em locais onde existe a rede de distribuição convencional, o custo se torna inviável. Segundo Costa (2001), é viável financeiramente a implantação de um sistema híbrido (eólico-solar) para geração de eletricidade em função do consumo de duas residências isoladas da rede de distribuição convencional, onde as residências juntas possuam um consumo diário de 4,13 kWh. Já Aldabó (2002) faz referência apenas ao custo ambiental, reconhecendo que neste o maior percentual incide na etapa da viabilidade. O que tende a elevar o custo da energia é o fator de capacidade, pois em plantas eólicas o fator de capacidade chega a atingir 30% (no máximo 40%), enquanto as plantas convencionais variam de 40% a 80% (SALLES, 2004).

Ao ser analisado apenas o custo de instalação na Tabela 01, concluir-se-ia de imediato que a fonte eólica apresenta melhor custo no investimento de instalação, mas no momento em que se compara o custo do investimento levando em consideração também o fator de capacidade já não se diria que o custo de investimento da fonte eólica é o menor (Tabela 05). Portanto, a fonte biomassa demonstra melhor vantagem, pois apresenta a razão de US\$ 25 para cada percentual do fator de capacidade.

Tabela 05: Cálculo do custo de instalação/fator de capacidade

Fonte	Custo Instalado (US\$/kW) (US\$ 1 = R\$ 1,95)	Diferença do Custo de Instalação	Fator de Capacidade %	Diferença do Fator de Capacidade	Razão (US\$/FC)
Biomassa	1.000 – 2.000	1.000	45 – 85	40	25
Eólica	900 – 1.400	500	25 – 40	15	33
PCH	1.000 – 3.000	2.000	40 – 70	30	67
Solar PV	6.000 – 10.000	4.000	18 – 22	4	1.000
Heliotérmica	3.000 – 10.000	7.000	25	25	280

Fonte: Agência Internacional de Energia (AIE) (SALLES, 2004)

Define-se aqui Fator de Capacidade como a razão entre a produção média e a produção máxima limitada pela potência instalada.

No entanto, o custo do projeto tende a diminuir com a redução do consumo de eletricidade ao serem controladas algumas variáveis, como, por exemplo, em um sistema de bombeamento a forma de partida do motor elétrico poderá ocasionar menos ou mais consumo de energia elétrica.

3.7 Métodos para Redução de Custos em Sistemas de Bombeamento

Um ou mais métodos a seguir podem ser utilizados em sistemas de bombeamento por meio de motor-bomba, com a finalidade de diminuir custos. Segundo Perroni (2005), o consumo de energia elétrica utilizada no motor-bomba para elevação de água até a superfície, seja para efetuar adicionalmente a elevação até os reservatórios de distribuição ou para alcançar a pressão necessária para a injeção direta na rede de distribuição, pode ser alto e o valor presente do custo operacional com energia elétrica ao longo da vida útil pode ultrapassar o próprio custo inicial de construção do poço. Desde 1983, com o aumento gradativo das tarifas de energia elétrica no Brasil e após recente crise de oferta da energia elétrica, diversas ações vêm sendo desenvolvidas por empresas de saneamento, objetivando a redução das despesas com energia elétrica em poços d'água (TSUTIYA, 2001 apud PERRONI, 2005). Em sua dissertação, PERRONI (2005) refere-se a estratégias para redução do custo de energia elétrica em poços de água, as quais foram sugeridas em 1996 pelo engenheiro da SABESP Celso Hagiuda, que as agrupou da seguinte forma:

- Ações de caráter administrativo em que parte pode ser implantada sem custos de investimento: redução do custo sem diminuição do consumo de energia elétrica; adequação do sistema tarifário; regularização do contrato de demanda; desativação de instalações sem uso; conferência da medição do consumo; correção do fator de potência; alteração do fator de alimentação e melhoria do fator de carga;
- Redução do custo pela diminuição do consumo de energia elétrica: redução nas perdas de cargas na tubulação; redução no volume de água bombeada; melhoria do rendimento dos conjuntos motor-bomba. Segundo TSUTIYA (op. cit), com a redução das perdas de carga da tubulação de alguns sistemas da SABESP foi possível reduzir em até 40% o consumo de energia elétrica;

- Redução do custo pela alteração do sistema operacional: alteração do sistema de bombeamento / reservação e utilização de variadores de rotação das bombas são soluções possíveis que podem ser atingidas mediante a adoção de estratégias operacionais otimizadas;
- Redução do custo pela automação do sistema de abastecimento de água, ocasionando a redução de custos operacionais com mão-de-obra, de tal forma que ocorreu uma economia de até 25% na SABESP;
- Redução do custo com a geração de energia elétrica: aproveitamento de potências energéticas e uso de geradores em horários de ponta.

O uso de motores elétricos de indução alimentados por inversores de frequência para acionamentos de velocidade variável tem crescido significativamente e apresentam vantagens, tais como: facilidade de controle, economia de energia, redução no preço dos inversores, melhoramento do desempenho de máquinas e equipamentos devido à adaptação da velocidade aos requisitos do processo e a eliminação do pico de corrente na partida do motor (SEABRA, 2004, p. 51).

A velocidade dos motores de indução é dada pela Equação 16:

$$R_o = \frac{120 \times f_r(1-s)}{p_o} \quad (16)$$

Pela Equação 16 é possível obter várias velocidades para um mesmo motor por meio da variação de frequência. Os inversores atuam como uma fonte de frequência variável para o motor permitindo um ajuste contínuo de velocidade e conjugado. O escorregamento do motor é mantido constante, portanto, as perdas podem ser otimizadas de acordo com as condições de carga (SEABRA, 2004, p. 52).

3.7.1 Tipos de Acionamentos de Motores Elétricos

As diversas formas de acionamento do motor elétrico poderão ocasionar aumento de potência, e conseqüentemente elevação do consumo de energia elétrica no momento do início de funcionamento do motor, além do aquecimento desnecessário do motor ocasionando diminuição no tempo de vida útil deste. Portanto, é de fundamental importância o conhecimento no aspecto de eficiência energética. A forma de acionamento do motor elétrico, segundo GRUNDFOS (1996), pode ser:

1 **Partida direta:** é o método pelo qual o motor é ligado diretamente à rede elétrica. Este método proporciona maior tempo de vida útil do motor por desenvolver nele menor calor, mas apresenta extrema elevação da potência durante a partida (Figura 26). É utilizado em motores que tenham potência até 45 kW e não permitem variar a rotação do motor. Em motores que funcionam com carga variável, mesmo com baixa potência, pode ser conveniente utilizar variador de rotação.

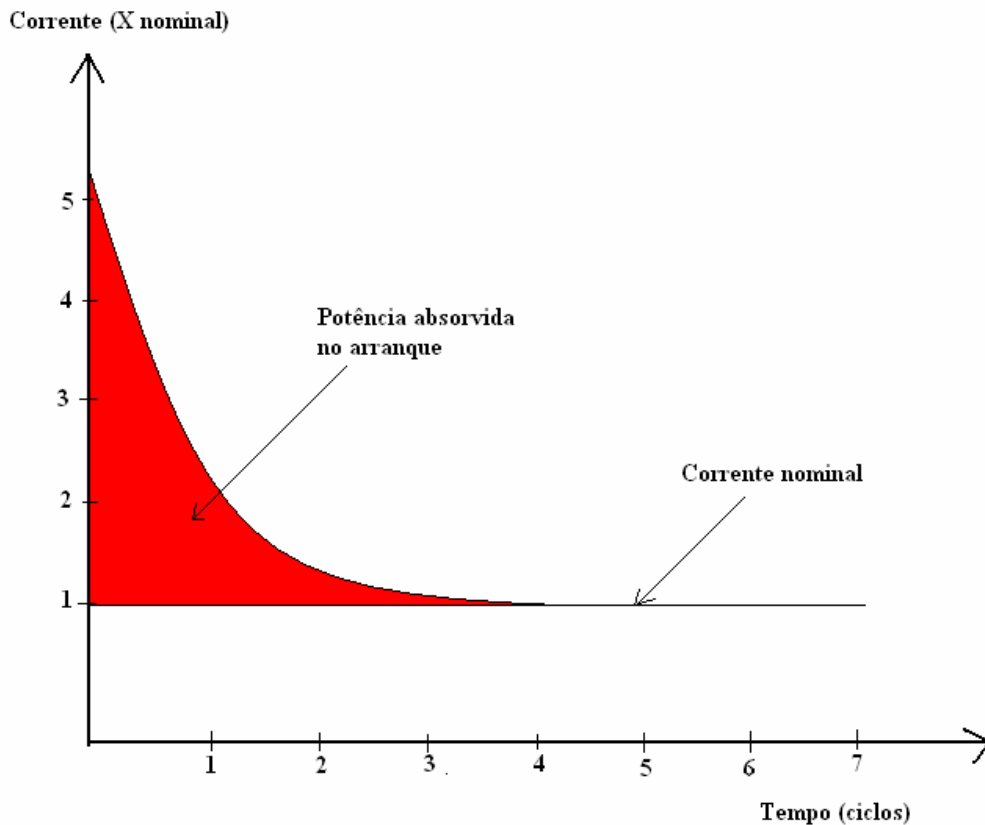


Figura 26: Potência consumida durante o arranque de motor elétrico com partida direta (GRUNDFOS, 1996)

2 **Partida com autotransformador:** a tensão é reduzida durante a partida por transformadores geralmente são dois sendo um para cada fase. Frequentemente os transformadores possuem duas tensões de saída, uma de 75% e a outra de 60%. A redução de corrente de arranque é obtida pelo processo de ligação em estrela, uma vez que a tensão de saída é de 60%. A principal vantagem é que enquanto durar a partida do motor o pico de corrente é desdobrado em dois (Figura 27).

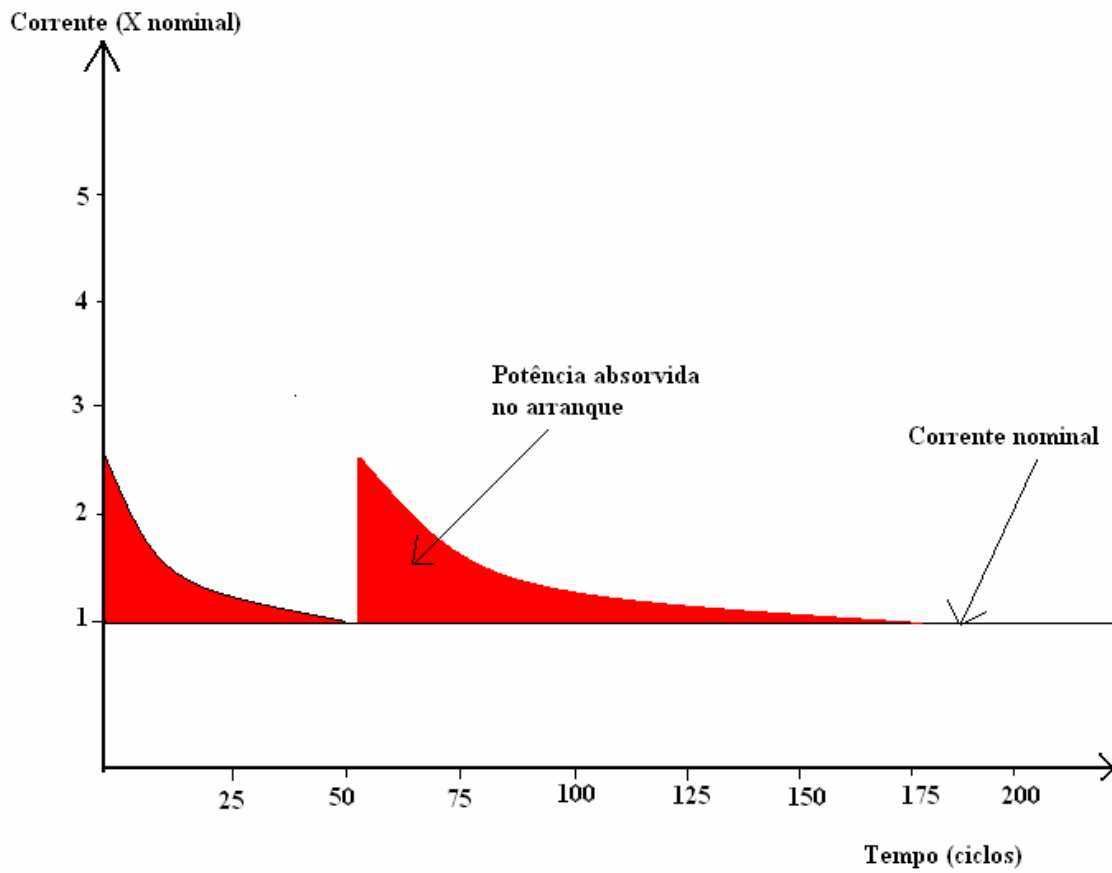


Figura 27: Potência consumida durante o arranque de motor elétrico com autotransformador (GRUNDFOS, 1996)

3 **Estrela-triângulo:** corresponde freqüentemente ao método mais utilizado para acionamento de bombas centrífugas, pelo fato de ser simples, barato e seguro. A ligação dos pólos do motor é feita em estrela durante o arranque, fazendo com que ocorra uma redução de até 67% no valor da corrente da partida direta (Figura 28). Após transcorrido um tempo fixo, automaticamente é feita a comutação para funcionamento em triângulo. Segundo Perroni (2005), a aplicação desse sistema de acionamento para bombas submersas com baixo momento de inércia (motor e bombeador leves) não apresenta vantagens significativas, e ressalta a desvantagem da necessidade de utilização de um cabo de alimentação que, no caso de poços com diâmetro reduzido, poderá representar uma complicação.

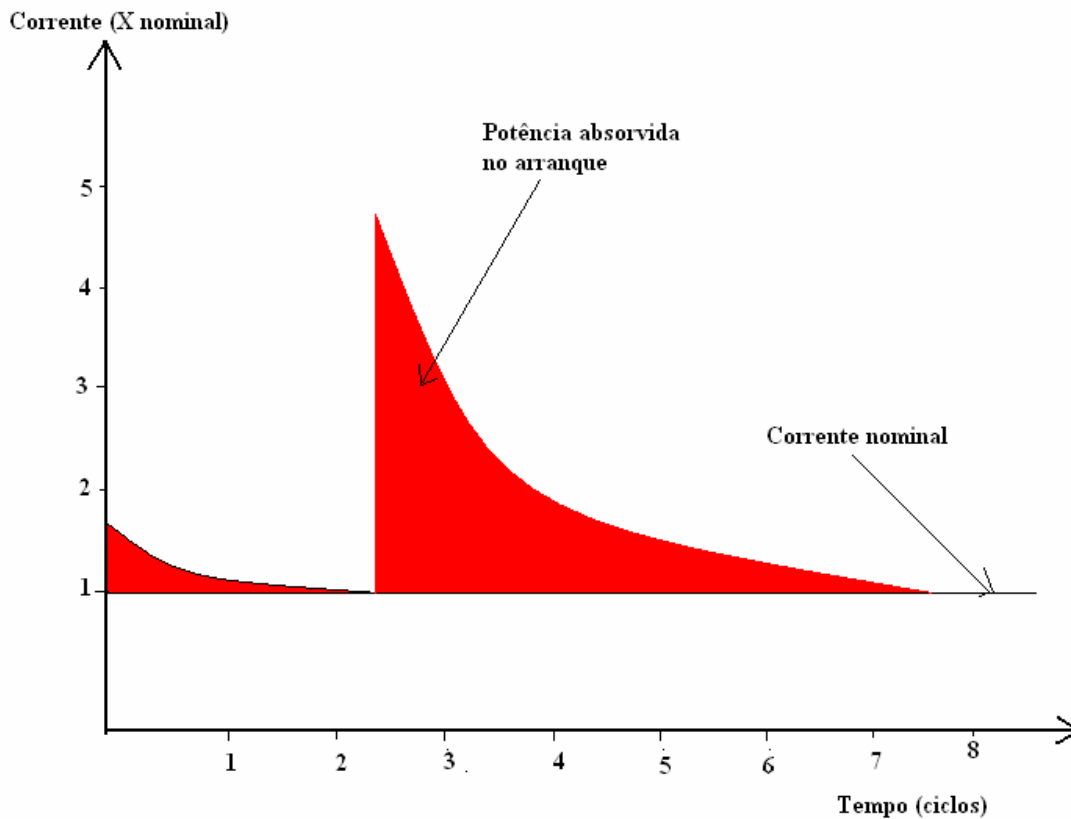


Figura 28: Potência consumida durante o arranque de motor elétrico com acionamento tipo estrela-triângulo (GRUNDFOS, 1996)

4 *Partida suave*: refere-se ao processo obtido com um equipamento eletrônico que controla os ângulos de fase, fazendo com que a tensão seja reduzida e, conseqüentemente, a corrente de arranque se torne duas ou três vezes inferior ao valor de trabalho. A rampa de aumento da tensão (Figura 29), que deve ser curta o suficiente para não provocar superaquecimento do motor, faz com que a potência desenvolvida durante o arranque seja suavizada (PERRONI, 2005).

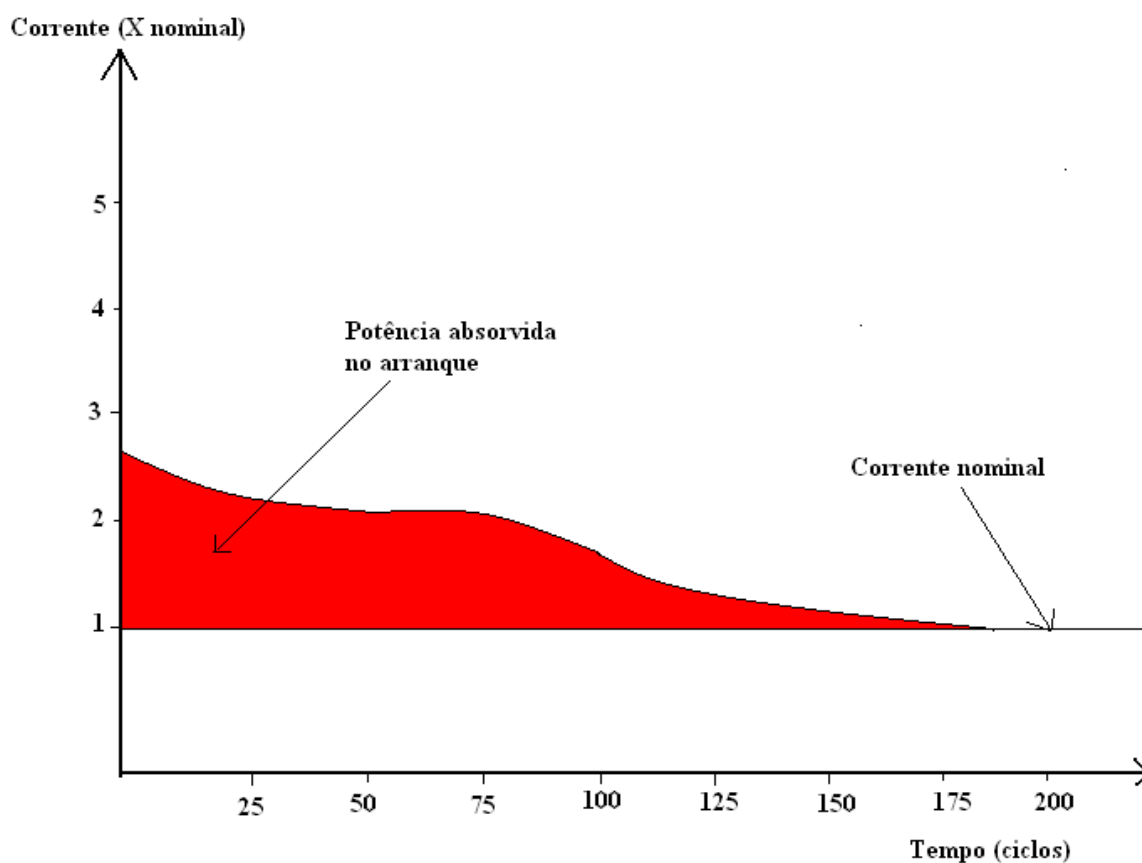


Figura 29: Potência consumida durante o arranque de motor elétrico com partida suave (GRUNDFOS, 1996)

CAPÍTULO 4

METODOLOGIA

4.1 Descrição

Dentro de cada projeto há um conjunto de variáveis que interferem no custo final. Para este estudo, inicialmente foi criado um banco de dados contendo informações sobre capacidade de armazenamento, número de baterias, capacidade de cada bateria, potência do motor elétrico de elevação do petróleo à superfície, tempo de funcionamento do motor, número de dias de autonomia, demanda diária total de energia, potência produzida pelo aerogerador, velocidade do vento, número de módulos fotovoltaicos, potência dos módulos, quantidade de aerogeradores, insolação diária, diâmetro do aerogerador e custos dos equipamentos obtidos por meio de pesquisa de mercado nacional e internacional (A cotação considerada do dólar foi US\$ 1.00 = R\$ 2,13).

O aerogerador pesquisado é do tipo hélice com três pás com eixo horizontal (Figura 19) e módulos fotovoltaicos com silício tipo monocristalino (Figura 09). Admite-se que os módulos estejam direcionados conforme posicionamento utilizado nos testes padronizados pelo fabricante. Neste caso, como o sistema analisado está situado próximo à linha do Equador, o rendimento poderá ser superior, em determinadas horas, ao padronizado. O painel fotovoltaico instalado permite ajuste durante o ano conforme o movimento anual do Sol (item 3.1.1) e o ângulo de incidência da radiação solar pode ser calculado pelas Equações (2) e (3). O sistema eólico-solar apresenta um barramento idêntico (Figura 22). O acionamento do motor elétrico apresenta um sistema de partida proposto por SEABRA (2004), no item 3.7

De posse do banco de dados, foi possível realizar uma análise de regressão linear múltipla (CHARNET, et. all, 1999; AZEVEDO, 2001), permitindo a estimação de um modelo matemático com o qual é possível tanto estimar pontualmente quanto intervalar o custo de implantação de um sistema híbrido de pequeno porte em diversos cenários. Para os testes de hipóteses, considerou-se um nível de significância de 0,05. Foram utilizados os testes estatísticos paramétricos: T-student, para detectar a diferença significativa na média do custo total ao ser considerado o diâmetro do aerogerador, e o teste F de Snedecor na análise de variância para testar se os coeficientes do modelo proposto são significativamente diferente de

zero. Como os dados não se aproximam da distribuição estatística normal, foi usado o teste estatístico não-paramétrico de Friedman (SIEGEL, 1975) para verificar se existem diferenças significativas no custo do sistema ao considerar distintas potências dos módulos.

De acordo com NOGUEIRA (2006) e ROCHA (2006), foi proposto um modelo de uma variável dependente e onze variáveis independentes. Ao ser aprofundado o estudo foi possível aperfeiçoar o modelo proposto, reduzindo de onze para cinco variáveis independentes, conforme descrito neste trabalho no item 5.1.

Foi também desenvolvido um programa computacional em uma linguagem orientada a objeto (Visual basic versão 6.0) para agilizar o dimensionamento e a estimativa do custo com base no modelo matemático.

Foram estudados vários cenários com a potência do motor elétrico de 3 e 5 HP com tempo de funcionamento diário de 4 a 8 horas. As potências módulos fotovoltaicos utilizadas no estudo foram: 60 W, 70 W, 80 W, 120 W e 160 W, sendo estas encontradas no mercado quando do início do estudo. A insolação média diária é fixada em 5 horas com base no Atlas Solarimétrico. A densidade do ar observada é de $1,1614 \text{ kg/m}^3$, considerada a velocidade média diária do vento, iniciando com 4 m/s e com um aerogerador com diâmetro mínimo de 3 m. A velocidade do vento e o diâmetro do aerogerador foram máximos até o momento em que foi possível associar módulos fotovoltaicos com aerogerador (sistema eólico-solar). Foi considerado o rendimento global do sistema de 0,25. Para a eficiência de atendimento da demanda diária considerou-se no dimensionamento o método NAD (Number of Autonomous Days) (REIS, 2003), ou seja, um dia de autonomia para que o banco de baterias forneça energia elétrica ao motor sem que haja geração de eletricidade pelo sistema, o que é esperado para manutenção deste. Para o dimensionamento do sistema, foi considerado o carregamento lento do banco de baterias de 180 dias quando uma vez descarregado, o que significa uma autonomia de, a cada seis meses, um dia de fornecimento de eletricidade ao motor sem que haja geração elétrica pelo sistema. Essa autonomia é importante principalmente pela necessidade de manutenção do aerogerador, que geralmente ocorre uma vez ao ano.

4.2 Dimensionamento de um Sistema Eólico-solar

O dimensionamento corresponde a uma das etapas mais importante na fase de instalação de um sistema para produção de energia elétrica sem essa etapa seria inviável estabelecer com segurança o melhor conjunto de equipamentos que possa garantir com máxima eficiência do fornecimento de energia elétrica para o fim a que se destina com menor

custo de implantação, principalmente se referindo a uma localidade isolada distante de uma linha de distribuição elétrica. Para melhor entendimento, apresenta-se uma aplicação item 5.2. Considerando a velocidade média do vento de 5,0 m/s e a insolação diária média de cinco horas, para uma localidade favorável a um sistema misto eólico-solar, inicialmente será dimensionado o banco de baterias para que o sistema tenha autonomia quando não houver geração de energia elétrica a partir das fontes renováveis, haja vista que o sistema não é interligado ao sistema de distribuição convencional.

4.2.1 Dimensionamento do Banco de Baterias

Refere-se a um processo indispensável, pois o banco de baterias dimensionado adequadamente possibilitará maior eficiência ao sistema, assim como a otimização do valor a ser investido. A seqüência de equações a seguir serão utilizadas no processo do dimensionamento:

- Consumo diário (cd):

$$cd = P_{motor} \times tf \quad (17)$$

onde:

cd : corresponde a demanda diária de energia (Wh)

P_{motor} : Potência do motor elétrico (W)

tf : Tempo de funcionamento do motor (h)

- Demanda diária de armazenamento (Wh):

$$dda = \frac{cd(Wh) \times DA}{NDRB} \quad (18)$$

onde:

dda = demanda diária de armazenamento

DA = Dias de autonomia

$NDRB$ = Número de dias de recuperação do banco de baterias

- Demanda diária total de energia:

$$DDTE = cd + dda \quad (19)$$

onde:

$DDTE$ = demanda diária total de energia

- Capacidade necessária de armazenamento(*CNA*):

$$CNA = \frac{cdxDA}{p} \quad (20)$$

onde:

p: Profundidade de descarga da bateria

O *DA* nas Equações (18) e (20) corresponde ao número de dias de energia elétrica armazenada para as situações em que o sistema híbrido deixe de gerar eletricidade parcial ou total. É uma medida de segurança para que a atividade fim não deixe de receber eletricidade, o que é pouco provável na região Nordeste, principalmente na zona litorânea, pois as correntes de vento e a insolação são bastante freqüentes. Essa medida decorrerá em maior espaço físico e custo no banco de baterias.

- Número de baterias em paralelo(*nbp*):

$$nbp = \frac{CNA}{cb} \quad (21)$$

onde:

cb: Capacidade de cada bateria

- Número de baterias em série(*nbs*):

$$nbs = \frac{V_{banco}}{V_{bateria}} \quad (22)$$

onde:

V_{Banco}: Voltagem do banco de baterias

V_{Bateria}: Voltagem de cada bateria

- Número total de baterias(*ntb*):

$$ntb = nbp \times nps \quad (23)$$

- Capacidade total do banco de baterias(*Ctbb*):

$$Ctbb = cb \times nbp \quad (24)$$

4.2.2 Dimensionamento Eólico

Sabendo-se que o custo de implantação de um sistema fotovoltaico atualmente é maior do que o eólico, em se tratando de um sistema híbrido, determina-se pela Equação (13) o

potencial eólico aproveitável. Caso a eletricidade a ser produzida na localidade não atenda à necessidade de consumo, o déficit deve ser suprido por outra fonte, que no caso do sistema estudado, será a solar.

4.2.3 Dimensionamento Solar

O dimensionamento solar tem como finalidade suprir a demanda de consumo de energia elétrica que não foi possível ser produzida pelo aerogerador do sistema híbrido. Neste estudo, a chamaremos de Energia solar complementar (E_{sc}).

$$E_{sc} = DDTE - E_{pa} \quad (25)$$

Essa energia corresponde à diferença entre a demanda diária total de energia ($DDTE$) e a energia produzida pelo aerogerador (E_{pa}). A energia solar complementar deverá ser gerada por módulos fotovoltaicos associados em série e em paralelo. O número de módulos necessários é definido pela equação a seguir:

$$NM = \frac{E_{sc}}{PM \times id} \quad (26)$$

onde:

NM = Número de módulos

PM = Potência do módulo fotovoltaico

Id = Insolação diária

A quantidade de módulos em série (Coletânea de artigos, 2005), é definida por:

$$nms = \frac{V_C}{V_{GP}} \quad (27)$$

onde:

nms = Número de módulos em série

V_C = Tensão requerida pelas cargas

V_{GP} = Tensão fornecida pelos painéis

Logo, o número de módulos fotovoltaicos em paralelo(nmp) será:

$$nmp = NM/nms \quad (28)$$

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 O Modelo Matemático

Inicialmente parte-se do princípio de que o modelo generalizado da regressão linear múltipla é do tipo $Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5 + \varepsilon$, (29)

onde:

$$Y = \hat{CT}$$

$$x_1 = CNA$$

$$x_2 = DDTE$$

$$x_3 = P_a$$

$$x_4 = PM$$

$$x_5 = NM$$

$$\varepsilon \sim N(0; \sigma^2), \text{ (CHARNET, et. all, 1999; AZEVEDO, 2001).}$$

Testando o modelo generalizado, temos que:

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = 0$$

$$H_1: \text{Pelo menos um } \beta_i \neq 0, \text{ onde } i = 1, 2, \dots, 5.$$

Tabela 06: Análise de variância

Efeito	Soma de Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F	P
Regressão	$3,607327 \times 10^{13}$	5	$7,214654 \times 10^{12}$	170394,3	0,00
Residual	$2,142070 \times 10^{12}$	50591	$4,234093 \times 10^{07}$		
Total	$3,821534 \times 10^{13}$				

Analisando a Tabela 06 e considerando um nível de significância de 0,05, pode-se rejeitar a hipótese H_0 , indicando que pelo menos um $\beta_i \neq 0, i = 1, 2, \dots, 5$.

Tabela 07: Resumo da regressão

Intercept	Beta	Desvio Padrão do Erro BETA	B	Desvio Padrão do Erro B	Z	P
			-5248,22	152,0597	-34,5142	0,00
<i>CNA</i>	0,4559234	0,001293	9,87	0,0280	352,6782	0,00
<i>DDTE</i>	0,2006133	0,002172	0,67	0,0072	92,3734	0,00
<i>P_a</i>	0,2583615	0,001294	2,04	0,0102	199,7247	0,00
<i>PM</i>	0,2034537	0,001724	150,74	1,2770	118,0434	0,00
<i>NM</i>	0,5334446	0,002459	524,26	2,4170	216,9082	0,00

O modelo matemático ajustado apresentou um coeficiente de determinação de 0,9439, o que significa considerar que as variáveis: demanda diária total de energia, capacidade de armazenamento do banco de baterias, potência do aerogerador, potência do módulo fotovoltaico e o número de módulos, explicam 94,39% de toda a variação do custo total, sendo 5,61% atribuídos a fatores aleatórios. Pode ser observado na Figura 30 que há homogeneidade nos resíduos e que há ausência de valores discrepantes. Na Figura 31, percebe-se que os erros são normalmente distribuídos, portanto, teremos o modelo ajustado como é indicado na equação 30.

$$\hat{CT} = -5248,22 + 9,87CNA + 0,67DDTE + 2,04P_a + 150,74PM + 524,26NM \quad (30)$$

cujos os respectivos coeficientes das variáveis *CNA*, *DDTE*, *P_a*, *PM* e *NM* correspondem aos valores quantificados na Tabela (07)

Na Equação 30 os coeficientes das variáveis correspondentes aos módulos fotovoltaicos (*PM* e *NM*) apresentaram maiores valores. Para cada módulo acrescido no sistema ocorrerá um aumento do custo total a uma taxa de 524,26 e para cada aumento na potência do módulo, o custo estimado irá aumentar a uma taxa de 150,74. Para cada unidade de aumento na potência do aerogerador, implicará um aumento no custo total à taxa de 2,04, o que é compreensível, pois os aerogeradores apresentam atualmente custo comercial inferior aos módulos fotovoltaicos. Desta forma, é aconselhável inicialmente determinar o quanto pode ser produzido pelo aporte eólico e posteriormente definir o quanto de energia solar complementar (*Esc*) deve ser produzida pelo aporte solar.

Por meio da Equação 30, é possível não somente estimar o custo total de um sistema eólico-solar, mas também o custo de implantação de um sistema somente eólico ou somente solar. Se a potência do aerogerador (*P_a*) for igual a “zero” e as demais variáveis diferentes de zero, é possível obter a estimativa do custo total de um sistema somente solar. Se a potência

do módulo (PM) e o número de módulos (NM) forem iguais a “zero”, e as demais variáveis diferentes de zero, o modelo estimará o custo total de um sistema puramente eólico.

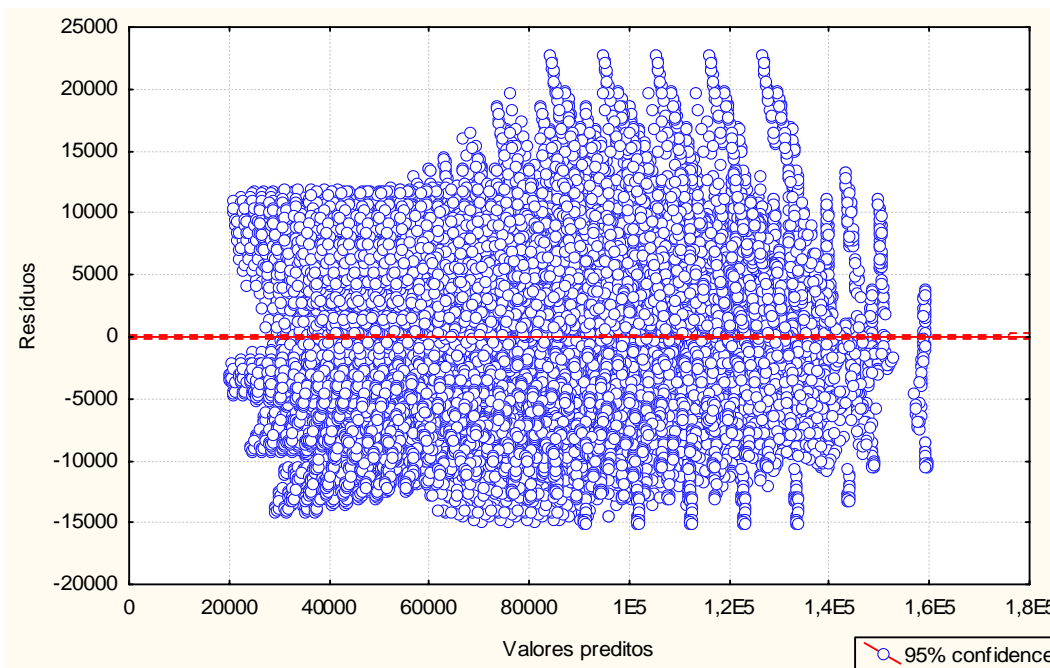


Figura 30: Gráfico de resíduos versus valores preditos

Comprova-se na Figura 30 a homogeneidade dos resíduos e a ausência de ponto atípico.

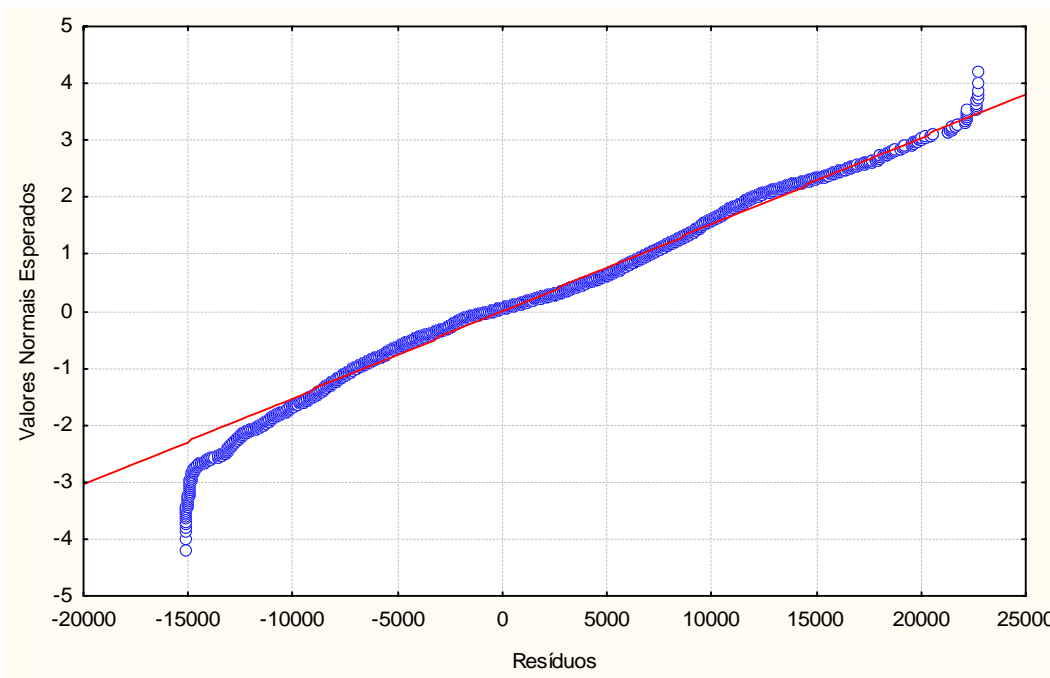


Figura 31: Gráfico da probabilidade normal dos resíduos

Analisando-se a Figura 31 conclui-se que os erros são normalmente distribuídos pois $\varepsilon \sim N(0; \sigma^2)$ (CHARNET, et. all, 1999; AZEVEDO, 2001).

5.2 Aplicação

Este item tem como finalidade tornar mais compreensivo ao leitor a aplicação dos procedimentos adotados para estimar o custo total de implantação de um sistema eólico-solar utilizado no bombeio de petróleo à superfície, em regiões isoladas da rede de distribuição convencional.

5.2.1 Dimensionamento do Sistema

É o procedimento pelo qual se configurará o sistema e terá influência direta no seu custo final. Segue um exemplo de dimensionamento considerando um determinado cenário caracterizado pela adoção de um motor de 2.250 W (3 HP). Demais cenários analisados neste estudo são obtidos por meio do programa desenvolvido.

- Tensão do banco de baterias: 48 V

- Tensão de cada bateria: 12 V

- Consumo diário (Equação 17):

$$cd = 2.250 \times 7 = 15.750 \text{ Wh ou } 328,13 \text{ Ah}$$

- Demanda diária de armazenamento (Equação 18):

$$dda = \frac{15.750 \times 1}{180} = 87,5 \text{ Wh}$$

- Demanda diária total de energia (Equação 19):

$$DDTE = 15.750 + 87,5 = 15.837,50 \text{ Wh}$$

- Profundidade da descarga da bateria: $p = 0,7$

- Capacidade necessária de armazenamento (Equação 20):

$$CNA = \frac{328,13 \times 1}{0,7} = 468,77 \text{ Ah}$$

- Capacidade de cada bateria: $(C_b) = 220 \text{ Ah}$

- Número de baterias em paralelo (Equação 21):

$$nbp = \frac{468,77}{220} = 2,13 \cong 3$$

- Número de baterias em série (Equação 22):

$$nbs = \frac{48}{12} = 4$$

- Número total de baterias (Equação 23):

$$ntb = 3 \times 4 = 12$$

- Capacidade total do banco de baterias (Equação 24):

$$Ctbb = 220 \times 3 = 660 \text{ Ah}$$

5.2.2 Energia Produzida pelo Aerogerador

A potência eólica aproveitável dos ventos é dada pela Equação (13):

$$P_a = \eta \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot A V^3$$

onde:

η = rendimento global de um sistema eólico (25%)

ρ = densidade do ar (considerou-se $1,1614 \text{ kg/m}^3$)

A = área de varredura das pás, $A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 19,63 \text{ m}^2$

V = velocidade média do vento = $5,0 \text{ m/s}$

$$P = 0,25 \times \frac{1}{2} \times 1,1614 \times 19,63 \times 5^3 = 356,22 \text{ W}$$

Como a velocidade média foi calculada considerando vinte quatro horas, teremos $8.549,28 \text{ Wh}$, que é a energia produzida pelo aerogerador (E_{pa}), o que é inferior à demanda diária total de energia elétrica ($DDTE$) para o motor. Portanto, deve ser complementada com a energia solar (46,02%).

5.2.3 Determinação do Número de Módulos Fotovoltaicos

Inicialmente se determina a produção de energia elétrica com o aerogerador configurado. A energia produzida pelo painel fotovoltaico tem como objetivo suprir o que não foi possível ser gerado pela turbina eólica no atendimento do consumo diário, portanto, na Equação (25) a sua utilização permitirá determinar o quanto ainda falta ser suprida do *DDTE*.

$$E_{sc} = 15.837,50 \text{ Wh} - 8.549,28 \text{ Wh} = 7.288,22 \text{ Wh}$$

A energia solar complementar de 7.288,22 Wh deverá ser fornecida por módulos fotovoltaicos associados em série e em paralelo. O número de módulos necessário é definido pela Equação (26):

$$nm = \frac{7.288,29Wh}{120W \times 5h} = 12$$

A quantidade de módulos em série (Coletânea de artigos, 2005), é definida pela Equação (27):

$$nms = \frac{48}{16,9} = 2,84 \cong 3$$

onde:

VC = tensão requerida pelas cargas (V)

VGP = tensão fornecida pelos painéis (V)

Logo, o número de módulos fotovoltaicos em paralelo pela Equação (28) será:

$$nmp = 12/3 = 4$$

5.2.4 Custo Estimado

Para se obter o custo estimado (em US\$) do sistema híbrido em questão basta substituir os valores obtidos no dimensionamento na Equação (30).

$$\hat{CT} = -5248,22 + 9,87 \times 468,77 + 0,67 \times 15837,50 + 2,04 \times 356,22 + 150,74 \times 120 + 524,26 \times 12$$

$$\hat{CT} = \text{US\$ } 35,096.27$$

Conversão usada neste trabalho: 1 US\$ = R\$ 2,13

5.3 Programa Computacional

Objetivando avaliar os diversos cenários e dar maior agilidade aos cálculos, foi desenvolvido um programa computacional que estima de forma pontual e intervalar o custo de implantação de um sistema eólico-solar com base no dimensionamento pré-determinado. As Figuras 32 e 33 exemplificam a utilização do programa “Cálculo do Custo de Implantação de um Sistema Eólico-solar”. Embora a Equação 30 estime o custo total de um sistema eólico-solar, eólico ou solar, o programa desenvolvido não estima o custo total de um sistema solar, pois o objetivo do estudo é para sistema eólico-solar. Como inicialmente é calculado o aporte eólico, logo, é possível obter o custo deste quando o aporte atender à Demanda Diária Total de Energia.

Section	Parameter / Label	Value	
Potência necessária	Informe a potência do motor (W)	2250	
	Informe o tempo diário de funcionamento do motor (h)	6	
Aerogerador	Informe o rendimento global do sistema	0,25	
	Qual a densidade do ar?	1,1614	
	Qual o diâmetro do aerogerador (m)?	5	
	Qual a velocidade média do vento (m/s)?	5	
Aerogerador	Qual o tempo médio de funcionamento do rotor (h)?	20	
	Qual o tempo médio de funcionamento do rotor (h)?	20	
Banco de baterias	Informe o número de dias de autonomia	1	
	Informe em quantos dias deseja recarregar as baterias	180	
	Informe a tensão do banco de baterias (V)	48	
	Informe a capacidade de cada bateria (Ah)	220	
	Informe a profundidade da descarga da bateria	,7	
Banco de baterias	Informe a tensão de cada bateria (V)	12	
	Informe a tensão de cada bateria (V)	12	
Módulos fotovoltaicos	Informe a potência do módulo (W)	80	
	Informe a insolação diária média (h)	5	
	Informe a tensão nominal do módulo (V)	12	
Moeda	Informe o valor do dolar em R\$	2,13	
Dimensionamento	Cd (Wh)	13.500,00	
	ddte (Wh)	13.575,00	
	Pa (W)	356,31	
	Esc (Wh)	6.448,80	
	Epa (Wh)	7.126,20	
	Epa (%)	52,50	
	Banco de baterias	dda (Ah)	75,00
		Cna (Ah)	401,79
		Ctbb (Ah)	402,60
		Ctbb (Wh)	19.324,80
nbp		1,83	
Banco de baterias	nbs	4,00	
	ntb	7,32	
	Número de Módulos fotovoltaicos	Nm	16,12
Nms		4,00	
Nmp		4,03	
Custo total	US\$	29.049,84	
	Li (US\$)	28.764,46	
	Ls (US\$)	29.335,22	
	R\$	61.876,16	
Custo total	Li (R\$)	61.268,29	
	Ls (R\$)	62.484,03	

É necessário complementar com energia solar!

Intervalo de confiança

Limpar conteúdo

Figura 32: Tela de entrada de dados para o cálculo do custo de implantação de um sistema eólico-solar, cenário 1

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

Na Figura 32, os retângulos na cor branca são reservados para entrada de dados, os verdes fornecem automaticamente os resultados, sendo que os limites inferiores e superiores (Li e Ls) serão obtidos ao clicar no menu “intervalo de confiança”. Esta Figura descreve a aplicação de um determinado cenário, onde o programa, além de dimensionar o sistema, exhibe, quando necessário, uma mensagem na cor vermelha, comunicando a necessidade de ser gerado energia elétrica por módulos fotovoltaicos. Mostra ainda o percentual da energia eólica (Epa) produzida no cenário dimensionado (Figura 32).

CÁLCULO DO CUSTO DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA EÓLICO-SOLAR

Potência necessária		Dimensionamento	
Informe a potência do motor (W)	2250	Cd (Wh)	6.750,00
Informe o tempo diário de funcionamento do motor (h)	3	ddte (Wh)	6.787,50
Aerogerador		Pa (W)	356,31
Informe o rendimento global do sistema	0,25	Esc (Wh)	6.448,80
Qual a densidade do ar?	1,1614	Epa (Wh)	7.126,20
Qual o diâmetro do aerogerador (m)?	5	Epa (%)	100,00
Qual a velocidade média do vento (m/s)?	5	Banco de baterias	
Qual o tempo médio de funcionamento do rotor (h)?	20	dda (Ah)	37,50
Banco de baterias		Cna (Ah)	200,89
Informe o número de dias de autonomia	1	Ctbb (Ah)	220,00
Informe em quantos dias deseja recarregar as baterias	180	Ctbb (Wh)	10.560,00
Informe a tensão do banco de baterias (V)	48	nbp	1,00
Informe a capacidade de cada bateria (Ah)	220	nbs	1,00
Informe a profundidade da descarga da bateria	,7	ntb	1,00
Informe a tensão de cada bateria (V)	12	Número de Módulos fotovoltaicos	
Atenção!! a geração do aerogerador(es) atende ddte.		Nm	16,12
Módulos fotovoltaicos		Nms	4,00
Informe a potência do módulo (W)	0	Nmp	4,03
Informe a insolação diária média (h)	0	Custo total	
Informe a tensão nominal do módulo (V)	0	US\$	10.460,13
Moeda		Li (US\$)	10.319,09
Informe o valor do dolar em R\$	2,13	Ls (US\$)	10.601,17
		R\$	22.280,08
		Li (R\$)	21.979,66
		Ls (R\$)	22.580,49

Intervalo de confiança
Limpar conteúdo

Figura 33: Tela de entrada de dados para o cálculo do custo de implantação de um sistema eólico-solar, cenário 2

Os dados de entrada no dimensionamento na Figura 33 divergem do dimensionamento da Figura 32 apenas no número de horas de funcionamento do motor, que reduziu de seis horas para três horas. Com a mudança o programa detectou que a geração elétrica por meio eólico atinge 100% da Demanda Diária Total de Energia e informa ao usuário, com uma mensagem na cor verde, que a produção de energia eólica atende a toda necessidade de energia elétrica.

5.4 Avaliação dos Cenários

Na comparação de cenários, o teste T Student (BLACK, 1997) teve sua aplicação para verificar se existe diferença significativa no custo quanto ao diâmetro do aerogerador (D) para uma potência de 3 HP (Tabelas 08 e 09); já as Tabelas 10 a 12 referem-se à 5 HP.

As linhas destacadas na Tabela 08 à Tabela 13, indicam diferença significativa no custo final considerando o nível de significância de 5%

Tabela 08: Velocidade do vento a 4m/s para motor elétrico de 3 HP

Diâmetros Aerogerador 1 x Aerogerador 2	Média (US\$) Aerogerador 1	Média (US\$) Aerogerador 2	t-value	gl	P
D3 x D4	34,413.94	33,026.13	0,72630	48	0,471183
D3 x D5	34,413.94	31,241.80	1,64332	48	0,106852
D3 x D6	34,413.94	29,060.96	2,72357	48	0,008979
D3 x D7	34,413.94	26,483.60	3,92201	48	0,000279
D4 x D5	33,026.13	31,241.80	0,92002	48	0,362165
D4 x D6	33,026.13	29,060.96	2,00829	48	0,050257
D4 x D7	33,026.13	26,483.60	3,22176	48	0,002290
D5 x D6	31,241.80	29,060.96	1,09409	48	0,279376
D5 x D7	31,241.80	26,483.60	2,32208	48	0,024517
D6 x D7	29,060.96	26,483.60	1,23780	48	0,221812

Tabela 09: Velocidade do vento a 5m/s para motor elétrico de 3 HP

Diâmetros Aerogerador 1 x Aerogerador 2	Média (US\$) Aerogerador 1	Média (US\$) Aerogerador 2	t-value	gl	P
D3 x D4	32,713.25	30,002.69	1,38254	48	0,173206
D3 x D5	32,713.25	26,517.67	3,04821	48	0,003738
D4 x D5	30,002.69	26,517.67	1,68710	48	0,098073

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

Tabela 10: Velocidade do vento a 4m/s para motor elétrico de 5 HP

Diâmetros Aerogerador 1 x Aerogerador 2	Média (US\$) Aerogerador 1	Média (US\$) Aerogerador 2	t-value	gl	P
D3 x D4	52,196.58	50,808.77	0,43192	48	0,667732
D3 x D5	52,196.58	49,024.44	0,99284	48	0,325769
D3 x D6	52,196.58	46,843.60	1,68338	48	0,098796
D3 x D7	52,196.58	44,266.24	2,50007	48	0,015887
D4 x D5	50,808.77	49,024.44	0,56159	48	0,577010
D4 x D6	50,808.77	46,843.60	1,25397	48	0,215924
D4 x D7	50,808.77	44,266.24	2,07424	48	0,043443
D5 x D6	49,024.44	46,843.60	0,69371	48	0,491205
D5 x D7	49,024.44	44,266.24	1,51740	48	0,135726
D6 x D7	46,843.60	44,266.24	0,82598	48	0,412901

Tabela 11: Velocidade do vento a 5m/s para motor elétrico de 5 HP

Diâmetros Aerogerador 1 x Aerogerador 2	Média (US\$) Aerogerador 1	Média (US\$) Aerogerador 2	t-value	gl	P
D3 x D4	50495,89	47,785,33	0,85666	48	0,395890
D3 x D5	50495,89	44,300,31	1,96647	48	0,055041
D3 x D6	50,495.89	40,040.86	3,30713	48	0,001791
D4 x D5	47,785.33	44,300.31	1,11482	48	0,270479
D4 x D6	47,785.33	40,040.86	2,46881	48	0,017168
D5 x D6	44,300.31	40,040.86	1,36377	48	0,179003

Tabela 12: Velocidade do vento a 6m/s para motor elétrico de 5 HP

Diâmetros Aerogerador 1 x Aerogerador 2	Média (US\$) Aerogerador 1	Média (US\$) Aerogerador 2	t-value	gl	P
D3 x D4	47,958.80	43,274.95	1,49781	48	0,140730
D3 x D5	47,958.80	37,252.85	3,38640	48	0,001421
D4 x D5	43,274.95	37,252.85	1,91385	48	0,061613

O teste Estatístico não paramétrico Friedman (item 4.1) auxiliou na decisão quanto à identificação na existência de diferença significativa de custo ao ser considerado a potência dos módulos (Tabela 13).

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

Tabela 13: Resultado da aplicação do teste Friedman.

Potência (W)	Diâmetro (m)	Velocidade (m/s)	Média do custo por Potência do módulo (US\$)					P
			60	70	80	120	160	
2.250	3	4	35,051.19	33,563.12	32,823.92	33,611.45	37,020.01	< 0,02795
2.250	3	5	32,553.51	31,440.50	30,982.59	32,426.46	36,163.20	< 0,02130
2.250	3	6	28,827.47	28,273.96	28,235.68	30,658.69	34,884.99	< 0,02130
2.250	3	7	23,627.40	23,854.74	24,402.09	28,191.58	33,101.13	< 0,00244
2.250	4	4	33,013.01	31,831.00	31,321.34	32,644.46	36,320.83	< 0,01412
2.250	4	5	28,572.70	28,057.45	28,047.86	30,537.82	34,797.60	< 0,01230
2.250	5	4	30,392.50	29,603.99	29,389.45	31,401.20	35,421,87	< 0,00657
2.250	5	5	23,454.52	23,707.82	24,274.64	28,109,56	33,041.83	< 0,00244
2.250	6	4	27,189.66	26,882.08	27,028.25	29,881.65	34,323.15	< 0,00496
2.250	7	4	23,404.47	23,665.29	24,237.75	28,085.82	33,024.66	< 0,00244
3.750	3	4	57,634.86	53,887.48	51,453.80	48,287,54	49,719.20	< 0,00756
3.750	3	5	55,137.19	51,764.86	49,612.47	47,102.55	48,862.39	< 0,01318
3.750	3	6	51,411.15	48,598.33	46,865.56	45,334.78	47,584.19	< 0,05000
3.750	3	7	46,211.08	44,179.10	43,031.97	42,867.67	45,800.32	< 0,11083
3.750	3	8	39,291.29	38,298.40	37,930.58	39,584.67	43,426.52	< 0,09762
3.750	4	4	55,596.69	52,155.36	49,951.22	47,320.55	49,020.02	< 0,00612
3.750	4	5	51,156.38	48,381.82	46,677.74	45,213.91	47,496.79	< 0,05100
3.750	4	6	44,532.31	42,752.42	41,794.36	42,071.21	45,224.43	< 0,24506
3.750	4	7	35,371.69	34,981.25	35,066.77	37,778.64	42,149.38	< 0,04180
3.750	5	4	52,976.18	49,928.35	48,019.33	46,077.28	48,121.06	< 0,00999
3.750	5	5	46,038.20	44,032.18	42,904.52	42,785.65	45,741.02	< 0,20521
3.750	5	6	35,688.09	35,236.26	35,274.24	37,875.18	42,190.46	< 0,04180
3.750	6	4	49,773.33	47,206.45	45,658.13	44,557.74	47,022.34	< 0,05100
3.750	6	5	39,782.64	38,715.97	38,292.81	39,817.79	43,595.07	< 0,19326
3.750	7	4	45,988.15	43,989.65	42,867.63	42,761.91	45,723.85	< 0,20521

Para as Tabelas 19 a 23, as linhas destacadas indicam o menor custo com base na potência dos dos módulos fotovoltaicos o tempo de funcionamento do motor.

Avaliando vários cenários para um motor elétrico de potência de 3 HP, funcionando quatro horas diárias, teremos o menor custo no investimento de US\$ 12,112.64 para uma configuração de dois módulos de 60 W, com um aerogerador de 7 m de diâmetro a uma velocidade média do vento de 4 m/s considerando um dia de autonomia (Tabela 14). Já para

um tempo de funcionamento do motor de cinco horas diárias a melhor configuração observada foi o da Tabela 15, isto é, um custo de US\$ 16,302.72 com seis módulos fotovoltaicos de 60 W com um aerogerador de 4 m de diâmetro a uma velocidade média do vento de 6 m/s. Quando o funcionamento do motor corresponder a seis horas diárias, a melhor configuração em relação ao custo de implantação do sistema é de US\$ 16,707.62 com apenas três módulos de 60 W, uma vez que a velocidade média local atinja 8 m/s, com um aerogerador de 3 m de diâmetro (Tabela 16), ou um aerogerador com diâmetro de 6 m tendo vento mínimo de 5 m/s coligado com quatro módulos de 60 W. Para sete horas de funcionamento do motor serão necessários três módulos fotovoltaicos de 60 W, a uma velocidade média do vento de 7 m/s com um aerogerador de 4 m (Tabela 17), enquanto que ao funcionar o motor oito horas diárias teremos a melhor eficiência com menor custo de US\$ 24,396.25 com onze módulos fotovoltaicos de 60 W, um aerogerador de 5 m de diâmetro com velocidade média do vento de 6 m/s. Ao ser avaliado a influência do diâmetro do aerogerador no custo total, quando a velocidade do vento atingir 4 m/s, foi observado que quando comparados os diâmetros D3 x D4, D3 x D5, D4 x D5, D5 x D6 e D6 x D7, não apresentaram diferenças significativas em nível de significância de 0,05 (Tabela 08), bem como a 5 m/s com D3 x D4 e D4 x D5 (Tabela 09). Quanto aos módulos, suas potências apresentaram diferenças significativas no custo (Tabela 13).

Ao ser considerado um motor elétrico de 5 HP, a melhor configuração observada em termos de custo foi US\$ 20,471.13 para um aerogerador de 3 m de diâmetro se a velocidade média do vento atingir 8 m/s, associado a oito módulos fotovoltaicos com 60 W cada, ideal para sistema que tenha que fornecer até 4 horas diárias de eletricidade (Tabela 18). Já para cinco horas de funcionamento o cenário mais favorável foi de US\$ 20,996.26 com três módulos de 60 W, sendo um aerogerador de 3 m de diâmetro a uma velocidade do vento de 9 m/s (Tabela 19). Como é raro no Brasil um anemômetro a até 10 m de altura registrar uma velocidade média diária de 9 m/s (desde que não seja rajada), a segunda opção seria um aerogerador de 7 m de diâmetro associado a sete módulos de 60 W, isto se a velocidade média local atingir pelo menos 5 m/s, o que significaria um custo de US\$ 22,386.71 (Tabela 20). Em casos em que são necessários apenas seis horas de funcionamento o mais indicado teoricamente é um aerogerador de 6 m de diâmetro com quatro módulos de 60 W, tendo velocidade média de 6 m/s, com custo total de US\$ 24,878.49 (Tabela 21). Uma segunda opção seria um investimento de US\$ 32,389.71 para um sistema com um aerogerador de 7 m de diâmetro com vento de 5 m/s combinado com vinte módulos fotovoltaicos de 60 W (Tabela 20).

Para atendimento da demanda de sete horas diárias foi observado que, teoricamente, o sistema eólico-solar com um aerogerador de 3 m de diâmetro com seis módulos de 60 W, sendo a velocidade do vento de 10 m/s, ocasionaria um investimento de US\$ 28,719.77 (Tabela 22), mas esta configuração não seria prática com essa velocidade, portanto recomenda-se um aerogerador de 3 m de diâmetro com trinta e nove módulos de 120 W à velocidade do vento de 5 m/s, o que acarretará um investimento de US\$ 53,217.58 (Tabela 23). Já para os casos em que o sistema deverá suprir a necessidade para oito horas de funcionamento do motor elétrico, teoricamente a melhor viabilidade foi um cenário com um aerogerador de 3 m de diâmetro com velocidade do vento de 10 m/s combinado à dezoito módulos de 60 W (Tabela 22). Uma opção prática corresponde a um aerogerador de 7 m de diâmetro com vento de 5 m/s conjugado a 34 módulos de 80 W, o que corresponde a US\$ 48,367.51.

Na Tabela 10 pode ser observado que não houve diferença significativa no custo ao ser comparada a sistemas com aerogeradores de D3 x D4 e D4 x D7, mas a uma velocidade de pelo menos 5 m/s apresentou diferenças nos custos nos diâmetros comparados D3 x D6, D4 x D6 e D3 x D5 (Tabela 11 e 12).

As potências dos módulos apresentaram diferenças significativas quando foi observada a potência de 5 HP do motor com aerogerador de 3 m de diâmetro a uma velocidade do vento até 8 m/s, com diâmetro de 4 m a uma velocidade de 5 e 6 m/s, com diâmetro de 5 m a uma velocidade de 5 m/s e com diâmetro de 6 m/s e 7 m para velocidades de 4 m/s a 5 m/s. As potências dos módulos apresentaram diferenças significativas no investimento com um aerogerador de 3 m de diâmetro a velocidades do vento de 4 m/s a 5 m/s, um aerogerador de 4 m sendo a velocidade do vento de 4 m/s e 6 m/s e um aerogerador de 5 m com a velocidade do vento de 4 m/s.

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

Tabela 14: Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, com aerogerador de 7 m de diâmetro e velocidade média do vento de 4 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CAN (Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	tf (hora)
12,112.64	71,43	9.050,00	357,57	60	2	4
17,758.56	89,29	11.312,50	357,57	60	9	5
23,404.47	107,14	13.575,00	357,57	60	17	6
29,050.39	125,00	15.837,50	357,57	60	24	7
34,696.31	142,86	18.100,00	357,57	60	32	8
13,503.10	71,43	9.050,00	357,57	70	1	4
18,584.20	89,29	11.312,50	357,57	70	8	5
23,665.29	107,14	13.575,00	357,57	70	14	6
28,746.38	125,00	15.837,50	357,57	70	21	7
33,827.47	142,86	18.100,00	357,57	70	27	8
14,922.81	71,43	9.050,00	357,57	80	1	4
19,580.28	89,29	11.312,50	357,57	80	7	5
24,237.75	107,14	13.575,00	357,57	80	12	6
28,895.22	125,00	15.837,50	357,57	80	18	7
33,552.69	142,86	18.100,00	357,57	80	24	8
20,747.78	71,43	9.050,00	357,57	120	1	4
24,416.80	89,29	11.312,50	357,57	120	5	5
28,085.82	107,14	13.575,00	357,57	120	8	6
31,754.84	125,00	15.837,50	357,57	120	12	7
35,423.87	142,86	18.100,00	357,57	120	16	8
26,675.06	71,43	9.050,00	357,57	160	1	4
29,849.86	89,29	11.312,50	357,57	160	3	5
33,024.66	107,14	13.575,00	357,57	160	6	6
36,199.46	125,00	15.837,50	357,57	160	9	7
39,374.25	142,86	18.100,00	357,57	160	12	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

Tabela 15: Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, com aerogerador de 4 m de diâmetro e velocidade média do vento de 6 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CNA (Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	tf (hora)
2,324.15	71,43	9.050,00	394,05	0	0	4
16,302.72	89,29	11.312,50	394,05	60	6	5
21,948.64	107,14	13.575,00	394,05	60	14	6
27,594.55	125,00	15.837,50	394,05	60	21	7
33,240.47	142,86	18.100,00	394,05	60	29	8
2,324.15	71,43	9.050,00	394,05	0	0	4
17,346.97	89,29	11.312,50	394,05	70	5	5
22,428.06	107,14	13.575,00	394,05	70	12	6
27,509.15	125,00	15.837,50	394,05	70	18	7
32,590.24	142,86	18.100,00	394,05	70	25	8
2,324.15	71,43	9.050,00	394,05	0	0	4
18,507.01	89,29	11.312,50	394,05	80	5	5
23,164.48	107,14	13.575,00	394,05	80	10	6
27,821.95	125,00	15.837,50	394,05	80	16	7
32,479.42	142,86	18.100,00	394,05	80	22	8
2,324.15	71,43	9.050,00	394,05	0	0	4
23,726.10	89,29	11.312,50	394,05	120	3	5
27,395.12	107,14	13.575,00	394,05	120	7	6
31,064.14	125,00	15.837,50	394,05	120	11	7
34,733.16	142,86	18.100,00	394,05	120	14	8
2,324.15	71,43	9.050,00	394,05	0	0	4
29,350.44	89,29	11.312,50	394,05	160	2	5
32,525.24	107,14	13.575,00	394,05	160	5	6
35,700.04	125,00	15.837,50	394,05	160	8	7
38,874.83	142,86	18.100,00	394,05	160	11	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

Tabela 16: Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, com aerogerador de 3 m de diâmetro e velocidade média do vento de 8 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CNA (Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	tf (hora)
2,592.11	71,43	9.050,00	525,40	0	0	4
4,284.23	89,29	11.312,50	525,40	0	0	5
16,707.62	107,14	13.575,00	525,40	60	3	6
22,353.54	125,00	15.837,50	525,40	60	11	7
27,999.45	142,86	18.100,00	525,40	60	18	8
2,592.11	71,43	9.050,00	525,40	0	0	4
4,284.23	89,29	11.312,50	525,40	0	0	5
17,974.04	107,14	13.575,00	525,40	70	3	6
23,055.13	125,00	15.837,50	525,40	70	9	7
28,136.22	142,86	18.100,00	525,40	70	16	8
2,592.11	71,43	9.050,00	525,40	0	0	4
4,284.23	89,29	11.312,50	525,40	0	0	5
19,300.70	107,14	13.575,00	525,40	80	2	6
23,958.17	125,00	15.837,50	525,40	80	8	7
28,615.64	142,86	18.100,00	525,40	80	14	8
2,592.11	71,43	9.050,00	525,40	0	0	4
4,284.23	89,29	11.312,50	525,40	0	0	5
24,908.59	107,14	13.575,00	525,40	120	2	6
28,577.61	125,00	15.837,50	525,40	120	5	7
32,246.63	142,86	18.100,00	525,40	120	9	8
2,592.11	71,43	9.050,00	525,40	0	0	4
4,284.23	89,29	11.312,50	525,40	0	0	5
30,727.33	107,14	13.575,00	525,40	160	1	6
33,902.13	125,00	15.837,50	525,40	160	4	7
37,076.92	142,86	18.100,00	525,40	160	7	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

Tabela 17: Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, com aerogerador de 4 m de diâmetro e velocidade média do vento de 7 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CNA (Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	t_f (hora)
2,796.80	71,43	9.050,00	625,74	0	0	4
4,488.92	89,29	11.312,50	625,74	0	0	5
6,181.05	107,14	13.575,00	625,74	0	0	6
18,349.98	125,00	15.837,50	625,74	60	3	7
23,995.90	142,86	18.100,00	625,74	60	10	8
2,796.80	71,43	9.050,00	625,74	0	0	4
4,488.92	89,29	11.312,50	625,74	0	0	5
6,181.05	107,14	13.575,00	625,74	0	0	6
19,652.75	125,00	15.837,50	625,74	70	2	7
24,733.84	142,86	18.100,00	625,74	70	9	8
2,796.80	71,43	9.050,00	625,74	0	0	4
4,488.92	89,29	11.312,50	625,74	0	0	5
6,181.05	107,14	13.575,00	625,74	0	0	6
21,006.68	125,00	15.837,50	625,74	80	2	7
25,664.15	142,86	18.100,00	625,74	80	8	8
2,796.80	71,43	9.050,00	625,74	0	0	4
4,488.92	89,29	11.312,50	625,74	0	0	5
6,181.05	107,14	13.575,00	625,74	0	0	6
26,678.17	125,00	15.837,50	625,74	120	1	7
30,347.20	142,86	18.100,00	625,74	120	5	8
2,796.80	71,43	9.050,00	625,74	0	0	4
4,488.92	89,29	11.312,50	625,74	0	0	5
6,181.05	107,14	13.575,00	625,74	0	0	6
32,528.72	125,00	15.837,50	625,74	160	1	7
35,703.52	142,86	18.100,00	625,74	160	4	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

Tabela 18: Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, com aerogerador de 3 m de diâmetro e velocidade média do vento de 8 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CNA (Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	tf (hora)
20,471.56	119,05	15.083,33	525,40	60	8	4
29,881.43	148,81	18.854,17	525,40	60	21	5
39,291.29	178,57	22.625,00	525,40	60	33	6
48,701.16	208,33	26.395,83	525,40	60	46	7
58,111.02	238,10	30.166,67	525,40	60	59	8
21,361.43	119,05	15.083,33	525,40	70	7	4
29,829.92	148,81	18.854,17	525,40	70	18	5
38,298.40	178,57	22.625,00	525,40	70	29	6
46,766.89	208,33	26.395,83	525,40	70	39	7
55,235.37	238,10	30.166,67	525,40	70	50	8
22,405.68	119,05	15.083,33	525,40	80	6	4
30,168.13	148,81	18.854,17	525,40	80	16	5
37,930.58	178,57	22.625,00	525,40	80	25	6
45,693.03	208,33	26.395,83	525,40	80	34	7
53,455.49	238,10	30.166,67	525,40	80	44	8
27,354.60	119,05	15.083,33	525,40	120	4	4
33,469.64	148,81	18.854,17	525,40	120	10	5
39,584.67	178,57	22.625,00	525,40	120	17	6
45,699.71	208,33	26.395,83	525,40	120	23	7
51,814.75	238,10	30.166,67	525,40	120	29	8
32,843.86	119,05	15.083,33	525,40	160	3	4
38,135.19	148,81	18.854,17	525,40	160	8	5
43,426.52	178,57	22.625,00	525,40	160	13	6
48,717.85	208,33	26.395,83	525,40	160	17	7
54,009.18	238,10	30.166,67	525,40	160	22	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

Tabela 19: Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, com aerogerador de 3 m de diâmetro e velocidade média do vento de 9 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CNA (Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	tf (hora)
7,558.71	119,05	15.083,33	748,09	0	0	4
20,996.26	148,81	18.854,17	748,09	60	3	5
30,406.13	178,57	22.625,00	748,09	60	16	6
39,815.99	208,33	26.395,83	748,09	60	28	7
49,225.86	238,10	30.166,67	748,09	60	41	8
7,558.71	119,05	15.083,33	748,09	0	0	4
22,278.95	148,81	18.854,17	748,09	70	3	5
30,747.44	178,57	22.625,00	748,09	70	13	6
39,215.93	208,33	26.395,83	748,09	70	24	7
47,684.41	238,10	30.166,67	748,09	70	35	8
7,558.71	119,05	15.083,33	748,09	0	0	4
23,617.83	148,81	18.854,17	748,09	80	2	5
31,380.28	178,57	22.625,00	748,09	80	12	6
39,142.73	208,33	26.395,83	748,09	80	21	7
46,905.18	238,10	30.166,67	748,09	80	31	8
7,558.71	119,05	15.083,33	748,09	0	0	4
29,254.19	148,81	18.854,17	748,09	120	2	5
35,369.23	178,57	22.625,00	748,09	120	8	6
41,484.26	208,33	26.395,83	748,09	120	14	7
47,599.30	238,10	30.166,67	748,09	120	20	8
7,558.71	119,05	15.083,33	748,09	0	0	4
35,087.17	148,81	18.854,17	748,09	160	1	5
40,378.50	178,57	22.625,00	748,09	160	6	6
45,669.83	208,33	26.395,83	748,09	160	11	7
50,961.16	238,10	30.166,67	748,09	160	15	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

Tabela 20: Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, com aerogerador de 7 m de diâmetro e velocidade média do vento de 5 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CNA (Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	tf (hora)
7,457.30	119,05	15.083,33	698,37	0	0	4
22,979.84	148,81	18.854,17	698,37	60	7	5
32,389.71	178,57	22.625,00	698,37	60	20	6
41,799.57	208,33	26.395,83	698,37	60	32	7
51,209.44	238,10	30.166,67	698,37	60	45	8
7,457.30	119,05	15.083,33	698,37	0	0	4
23,964.68	148,81	18.854,17	698,37	70	6	5
32,433.16	178,57	22.625,00	698,37	70	17	6
40,901.65	208,33	26.395,83	698,37	70	28	7
49,370.14	238,10	30.166,67	698,37	70	38	8
7,457.30	119,05	15.083,33	698,37	0	0	4
25,080.16	148,81	18.854,17	698,37	80	5	5
32,842.61	178,57	22.625,00	698,37	80	15	6
40,605.06	208,33	26.395,83	698,37	80	24	7
48,367.51	238,10	30.166,67	698,37	80	34	8
7,457.30	119,05	15.083,33	698,37	0	0	4
30,195.27	148,81	18.854,17	698,37	120	3	5
36,310.31	178,57	22.625,00	698,37	120	10	6
42,425.35	208,33	26.395,83	698,37	120	16	7
48,540.38	238,10	30.166,67	698,37	120	22	8
7,457.30	119,05	15.083,33	698,37	0	0	4
35,767.63	148,81	18.854,17	698,37	160	3	5
41,058.96	178,57	22.625,00	698,37	160	7	6
46,350.29	208,33	26.395,83	698,37	160	12	7
51,641.62	238,10	30.166,67	698,37	160	17	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

Tabela 21: Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, com aerogerador de 6 m de diâmetro e velocidade média do vento de 6 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CNA (Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	tf (hora)
7,841.32	119,05	15.083,33	886,62	0	0	4
10,661.53	148,81	18.854,17	886,62	0	0	5
24,878.49	178,57	22.625,00	886,62	60	4	6
34,288.35	208,33	26.395,83	886,62	60	17	7
43,698.22	238,10	30.166,67	886,62	60	30	8
7,841.32	119,05	15.083,33	886,62	0	0	4
10,661.53	148,81	18.854,17	886,62	0	0	5
26,049.84	178,57	22.625,00	886,62	70	4	6
34,518.32	208,33	26.395,83	886,62	70	15	7
42,986.81	238,10	30.166,67	886,62	70	25	8
7,841.32	119,05	15.083,33	886,62	0	0	4
10,661.53	148,81	18.854,17	886,62	0	0	5
27,305.20	178,57	22.625,00	886,62	80	3	6
35,067.65	208,33	26.395,83	886,62	80	13	7
42,830.10	238,10	30.166,67	886,62	80	22	8
7,841.32	119,05	15.083,33	886,62	0	0	4
10,661.53	148,81	18.854,17	886,62	0	0	5
32,746.71	178,57	22.625,00	886,62	120	2	6
38,861.75	208,33	26.395,83	886,62	120	9	7
44,976.79	238,10	30.166,67	886,62	120	15	8
7,841.32	119,05	15.083,33	886,62	0	0	4
10,661.53	148,81	18.854,17	886,62	0	0	5
38,482.27	178,57	22.625,00	886,62	160	2	6
43,773.60	208,33	26.395,83	886,62	160	6	7
49,064.93	238,10	30.166,67	886,62	160	11	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

Tabela 22: Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, com aerogerador de 3 m de diâmetro e velocidade média do vento de 10 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CNA (Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	tf (hora)
8,126.02	119,05	15.083,33	1.026,18	0	0	4
10,946.23	148,81	18.854,17	1.026,18	0	0	5
13,766.44	178,57	22.625,00	1.026,18	0	0	6
28,719.77	208,33	26.395,83	1.026,18	60	6	7
38,129.64	238,10	30.166,67	1.026,18	60	18	8
8,126.02	119,05	15.083,33	1.026,18	0	0	4
10,946.23	148,81	18.854,17	1.026,18	0	0	5
13,766.44	178,57	22.625,00	1.026,18	0	0	6
29,785.92	208,33	26.395,83	1.026,18	70	5	7
38,254.41	238,10	30.166,67	1.026,18	70	16	8
8,126.02	119,05	15.083,33	1.026,18	0	0	4
10,946.23	148,81	18.854,17	1.026,18	0	0	5
13,766.44	178,57	22.625,00	1.026,18	0	0	6
30,962.39	208,33	26.395,83	1.026,18	80	4	7
38,724.84	238,10	30.166,67	1.026,18	80	14	8
8,126.02	119,05	15.083,33	1.026,18	0	0	4
10,946.23	148,81	18.854,17	1.026,18	0	0	5
13,766.44	178,57	22.625,00	1.026,18	0	0	6
36,219.81	208,33	26.395,83	1.026,18	120	3	7
42,334.85	238,10	30.166,67	1.026,18	120	9	8
8,126.02	119,05	15.083,33	1.026,18	0	0	4
10,946.23	148,81	18.854,17	1.026,18	0	0	5
13,766.44	178,57	22.625,00	1.026,18	0	0	6
41,863.32	208,33	26.395,83	1.026,18	160	2	7
47,154.65	238,10	30.166,67	1.026,18	160	7	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

Tabela 23: Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, com aerogerador de 3 m de diâmetro e velocidade média do vento de 5 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CNA (Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	tf (hora)
36,317.46	119,05	15.083,33	128,27	60	40	4
45,727.32	148,81	18.854,17	128,27	60	53	5
55,137.19	178,57	22.625,00	128,27	60	65	6
64,547.05	208,33	26.395,83	128,27	60	78	7
73,956.92	238,10	30.166,67	128,27	60	90	8
34,827.89	119,05	15.083,33	128,27	70	34	4
43,296.38	148,81	18.854,17	128,27	70	45	5
51,764.86	178,57	22.625,00	128,27	70	56	6
60,233.35	208,33	26.395,83	128,27	70	67	7
68,701.83	238,10	30.166,67	128,27	70	77	8
34,087.57	119,05	15.083,33	128,27	80	30	4
41,850.02	148,81	18.854,17	128,27	80	39	5
49,612.47	178,57	22.625,00	128,27	80	49	6
57,374.92	208,33	26.395,83	128,27	80	58	7
65,137.37	238,10	30.166,67	128,27	80	68	8
34,872.47	119,05	15.083,33	128,27	120	20	4
40,987.51	148,81	18.854,17	128,27	120	26	5
47,102.55	178,57	22.625,00	128,27	120	33	6
53,217.58	208,33	26.395,83	128,27	120	39	7
59,332.62	238,10	30.166,67	128,27	120	45	8
38,279.73	119,05	15.083,33	128,27	160	15	4
43,571.06	148,81	18.854,17	128,27	160	20	5
48,862.39	178,57	22.625,00	128,27	160	24	6
54,153.72	208,33	26.395,83	128,27	160	29	7
59,445.05	238,10	30.166,67	128,27	160	34	8

CAPÍTULO 6

CONCLUSÃO

Com o mínimo impacto ambiental, a utilização de um sistema híbrido eólico-solar para elevação de petróleo já é uma realidade em poços de petróleo implantado no estado do Ceará. A utilização deste sistema eliminou o motor a óleo diesel, ligado durante vinte quatro horas diárias. A poluição ambiental é mínima quando comparada à poluição antiga produzida pelo motor a diesel. É um sistema isolado e independente, cuja configuração pode ser alterada conforme a necessidade de geração de energia elétrica.

Não existe uma regra que determine o que se deva utilizar: um sistema unicamente eólico, somente solar ou híbrido, pois a escolha depende das condições climáticas da localidade, da demanda energética necessária, do relevo e do custo do investimento. O modelo matemático apresentado neste trabalho auxiliará na tomada de decisão quanto à otimização do custo do sistema. O modelo possui a vantagem de estimar o custo de implantação do sistema eólico-solar sem prévio conhecimento do custo de cada equipamento. Para utilizar o modelo proposto é suficiente ter informações sobre o dimensionamento do sistema. Outra vantagem é o modelo poder ser aplicado para qualquer finalidade de geração de eletricidade de um sistema híbrido eólico-solar de pequeno porte, bem como para sistemas unicamente eólico ou solar. Os custos estimados pelo modelo matemático não sofrem influência significativa do câmbio e é bastante eficiente para pequenas oscilações de preço. Com o passar do tempo, se houver redução acentuada nos preços dos componentes do sistema, as estimativas obtidas pelo modelo matemático serão menos exatas, tendo em vista que o modelo não contempla as variações de preço no tempo. Entretanto, será possível ajustá-lo recalculando os coeficientes das variáveis do modelo proposto, pelo método da regressão linear múltipla, ou aplicar a taxa de deflação. Caso ocorra o contrário (aumento significativo dos preços), será necessário que se recalcule os coeficientes das variáveis, ou aplicar a taxa inflacionária no custo total estimado.

As potências dos módulos para um motor elétrico de 3 HP não apresentaram diferenças significativas no custo total do investimento do sistema híbrido. Não existiu diferença significativa nos custos do sistema ao ser considerado o diâmetro do rotor de 3 m e 4 m para as potências de 3 HP do motor elétrico. Já para 5 HP, as variações ocorreram

somente para velocidades de vento de 4 m/s e 6 m/s em aerogeradores de 3 m, 4 m e 5 m de diâmetros. Apesar do modelo determinar a melhor configuração do sistema híbrido, o custo ainda é alto para pequenas comunidades ou consumidor isolado, principalmente devido aos módulos fotovoltaicos. O programa computacional desenvolvido “Cálculo do Custo de Implantação de um Sistema Eólico-solar” é de fácil utilização e possibilita também o dimensionamento e a estimativa do custo de implantação de um sistema puramente eólico.

CAPÍTULO 7

SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

A seguir são apresentadas algumas sugestões de trabalhos futuros que podem estender o estudo apresentado nesta dissertação.

- Avaliar o tempo de retorno do investimento em sistemas híbridos;
- Comparar custos de investimento com sistemas híbridos maiores com dois aerogeradores de mesma potência configurados para um ou mais dias de autonomia;
- Comparar sistemas híbridos com dois aerogeradores com potências diferentes configurados para um ou mais dias de autonomia.

REFERÊNCIAS

- ALDABÓ, RICARDO. **Energia eólica**. São Paulo: Artliber Editora Ltda, 2002. 157p.
- Atlas Solarimétrico do Brasil: **Banco de dados terrestres**. coordenador Chigueru Tiba ... et all. – Recife/PE: Ed. Universitária da UFPE, 2000. 111p.
- AZEVEDO, PAULO R. MEDEIROS. **Modelos de regressão linear**. Natal: EDUFRN, 2001. 202p.
- BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2006. **Resultados preliminares ano base 2005**. Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro. 30p.
- BLACK, KEN. **Business statistics contemporary decision making**. New York: West, 1997. 1085p.
- CHARNET REINALDO, FREIRE; CLARICE AZEVEDO DE LUNA et all. **Análise de modelos de regressão**. Linear com Aplicações. Campinas: UNICAMP, 1999. 356p.
- COLETÂNEA DE ARTIGOS: **Energias solar e eólica** – Volume 2/ Rio de Janeiro, CRESESB, 2005. 320p.
- CRESESB: **CD-ROM geração solar e eólica no Brasil**. Rio de Janeiro, 1997.
- COSTA, HEITOR SCALAMBRINI, COSTA, RODRIGO AMON L. DA et all. **Análise econômica comparativa da eletrificação rural comercial e fotovoltaica**. Trabalho apresentado na XVII Conferência Latino-Americana de Eletrificação Rural. Recife, 1999.
- COSTA, ALEXANDRE CARLOS ARAÚJO. **Metodologia de análise e projeto de sistemas híbridos eólico-solar-bateria para a geração de energia elétrica**. Recife, 2001. 100p. Dissertação. Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de pós-graduação em Engenharia Mecânica.

DUFFIE, JOHN A.; BECKMAN, WILLIAM A. **Solar engineering of thermal processes**. New York: John Wiley & Sons Ltda, 1980. 762p.

FARIAS, GISELE MARINS CHIARADA MENDES. **Sistemas híbridos eólicos/solar para aplicações isoladas análise experimental**. Recife, 2000. 105p. Dissertação. Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de pós-graduação em Engenharia Mecânica.

FERREIRA, MARIA JULITA GUERRA. **Experiência de projetos fotovoltaicos no estado de São Paulo: modelagem para planejamento energético em comunidades isoladas**. São Paulo, 2002. 205p. Tese (Doutorado em Energia). Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo.

GARCÍA, FELIPE HERNÁNDEZ. **Análise experimental e simulação de sistemas híbridos eólicos-fotovoltaicos**. Porto Alegre, 2004. 185p. Tese do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

GRUNDFOS. **Manual de engenharia, bombas grundfos de Portugal**. Lisboa, 1996. 66p.

HECKTHEUER, LÚCIO ALMEIDA. **Análise de associações de módulos fotovoltaicos**. Porto Alegre, 2001. 118p. Tese do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

KRAUTER, STEFAN. Disponível em: <http://www.solar.coppe.ufrj.br/eolica/eol_txt.htm>
Acesso em: 12 de outubro de 2006

LABDTE, **Laboratório de dispositivos térmicos especiais**. Departamento de Engenharia Mecânica, UFRN. Natal, 2007

NOGUEIRA, JOSÉ WILSON LAGE, ROCHA, BRISMARK GÓES et all. Utilização de fontes renováveis de energia para o bombeamento de petróleo. **CONEM**, Recife, 2006. 1 CD-ROM.

NOTÍCIAS UN-RNCE, Notícias de quem faz a Petrobrás. Natal, Ano XII, nº 552, 14 de junho 2006.

PERRONI, JÚLIO CÉSAR ARANTES. **Avaliação do consumo de energia elétrica para produção de água subterrâneas** – O caso do abastecimento público da cidade de São Carlos, 2005. 127 p. Dissertação Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

PETROBRAS, Cavalos-de-pau movido a Sol e vento. Disponível em: <http://www2.petrobras.com.br/portal/frame.asp?pagina=/Petrobras/portugues/noticias/index.htm> Acesso em: 18 de janeiro de 2007.

<http://www.mnp.nl/ipcc/> > Acesso em: 18 de Junho de 2007

REIS, LINEU BÉLICO DOS. **Geração de energia elétrica tecnologia, inserção ambiental, planejamento, operação e análise de viabilidade**. Barueri, SP: Manole Editora, 2003. 324p.

RIBEIRO, ROGÉRIO PINTO. **Metodologia de projeto de turbinas eólicas de eixo horizontal para baixa potência**. Belo Horizonte, 2006. 98p. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais.

ROCHA, BRISMARK GÓES. **Utilização da regressão linear para estimar o custo da implantação de um sistema híbrido de fontes renováveis de energia**. SINAPE, Caxambu, MG, 2006. 1 CD-ROM.

SALLES, ANA CLAUDIA NIAC DE. **Metodologias de análise de risco para avaliação financeira de projetos de geração eólica**. Rio de Janeiro, 2004. 83p. Dissertação do Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

SEABRA, IGOR MONTALVERNE JUCÁ. **Análise teórica e experimental da utilização da energia eólica na elevação de petróleo**. Natal, 2004. 83p. Dissertação do Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

SIEGEL, S. **Estatística não-paramétrica**. São Paulo: Mcgraw-Hill do Brasil Ltda, 1975. 350p.

TSUTIYA, M.T. **Redução do custo da energia elétrica em sistemas de abastecimento de água**. São Paulo, 2001. 185p. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES Seção São Paulo.

APÊNDICES

As linhas destacadas, nas Tabelas destes Apêndices, referem-se ao menor custo, tomando como base a potência dos módulos fotovoltaicos e o tempo de funcionamento do motor.

APÊNDICE A – Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, aerogerador de 3 m de diâmetro e velocidade média do vento de 4 m/s para 1 dia de autonomia.

APÊNDICE B – Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, aerogerador de 3 m de diâmetro e velocidade média do vento de 5 m/s para 1 dia de autonomia.

APÊNDICE C – Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, com aerogerador de 3 m de diâmetro e velocidade média do vento de 6 m/s para 1 dia de autonomia.

APÊNDICE D – Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, com aerogerador de 3 m de diâmetro e velocidade média do vento de 7 m/s para 1 dia de autonomia.

APÊNDICE E – Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, com aerogerador de 3 m de diâmetro e velocidade média do vento de 9 m/s para 1 dia de autonomia.

APÊNDICE F – Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, com aerogerador de 4 m de diâmetro e velocidade média do vento de 4 m/s para 1 dia de autonomia.

APÊNDICE G – Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, com aerogerador de 4 m de diâmetro e velocidade média do vento de 5 m/s para 1 dia de autonomia.

APÊNDICE H – Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, com aerogerador de 5 m de diâmetro e velocidade média do vento de 4 m/s para 1 dia de autonomia.

APÊNDICE I – Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, com aerogerador de 5 m de diâmetro e velocidade média do vento de 5 m/s para 1 dia de autonomia.

APÊNDICE J – Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, com aerogerador de 5 m de diâmetro e velocidade média do vento de 6 m/s para 1 dia de autonomia.

APÊNDICE K – Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, com aerogerador de 5 m de diâmetro e velocidade média do vento de 7 m/s para 1 dia de autonomia.

APÊNDICE L – Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, com aerogerador de 6 m de diâmetro e velocidade média do vento de 4 m/s para 1 dia de autonomia.

APÊNDICE M – Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, com aerogerador de 6 m de diâmetro e velocidade média do vento de 5 m/s para 1 dia de autonomia.

APÊNDICE N – Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, com aerogerador de 6 m de diâmetro e velocidade média do vento de 6 m/s para 1 dia de autonomia.

- APÊNDICE O – Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, com aerogerador de 7 m de diâmetro e velocidade média do vento de 5 m/s para 1 dia de autonomia.
- APÊNDICE P – Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, com aerogerador de 7 m de diâmetro e velocidade média do vento de 6 m/s para 1 dia de autonomia.
- APÊNDICE Q – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, com aerogerador de 3 m de diâmetro e velocidade média do vento de 4 m/s para 1 dia de autonomia.
- APÊNDICE R – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, com aerogerador de 3 m de diâmetro e velocidade média do vento de 6 m/s para 1 dia de autonomia.
- APÊNDICE S – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, com aerogerador de 3 m de diâmetro e velocidade média do vento de 7 m/s para 1 dia de autonomia.
- APÊNDICE T – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, com aerogerador de 4 m de diâmetro e velocidade média do vento de 4 m/s para 1 dia de autonomia.
- APÊNDICE U – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, com aerogerador de 4 m de diâmetro e velocidade média do vento de 5 m/s para 1 dia de autonomia.
- APÊNDICE V – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, com aerogerador de 4 m de diâmetro e velocidade média do vento de 6 m/s para 1 dia de autonomia.
- APÊNDICE W – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, com aerogerador de 4 m de diâmetro e velocidade média do vento de 7 m/s para 1 dia de autonomia.
- APÊNDICE X – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, com aerogerador de 4 m de diâmetro e velocidade média do vento de 8 m/s para 1 dia de autonomia.
- APÊNDICE Y – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, com aerogerador de 4 m de diâmetro e velocidade média do vento de 9 m/s para 1 dia de autonomia.
- APÊNDICE Z – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, com aerogerador de 5 m de diâmetro e velocidade média do vento de 4 m/s para 1 dia de autonomia.
- APÊNDICE AA – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, com aerogerador de 5 m de diâmetro e velocidade média do vento de 5 m/s para 1 dia de autonomia.
- APÊNDICE AB – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, com aerogerador de 5 m de diâmetro e velocidade média do vento de 6 m/s para 1 dia de autonomia.
- APÊNDICE AC – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, com aerogerador de 5 m de diâmetro e velocidade média do vento de 7 m/s para 1 dia de autonomia.
- APÊNDICE AD – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, com aerogerador de 5 m de diâmetro e velocidade média do vento de 8 m/s para 1 dia de autonomia.
- APÊNDICE AE – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, com aerogerador de 6 m de diâmetro e velocidade média do vento de 4 m/s para 1 dia de autonomia.

APÊNDICE AF – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, com aerogerador de 6 m de diâmetro e velocidade média do vento de 5 m/s para 1 dia de autonomia.

APÊNDICE AG – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, com aerogerador de 6 m de diâmetro e velocidade média do vento de 7 m/s para 1 dia de autonomia.

APÊNDICE AH – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, com aerogerador de 7 m de diâmetro e velocidade média do vento de 4 m/s para 1 dia de autonomia.

APÊNDICE AI – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, com aerogerador de 7 m de diâmetro e velocidade média do vento de 6 m/s para 1 dia de autonomia.

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

APÊNDICE A – Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, aerogerador de 3 m de diâmetro e velocidade média do vento de 4 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CNA(Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	t_f (hora)
23,759.35	71,43	9.050,00	65,68	60	25	4
29,405.27	89,29	11.312,50	65,68	60	32	5
35,051.19	107,14	13.575,00	65,68	60	40	6
40,697.10	125,00	15.837,50	65,68	60	48	7
46,343.02	142,86	18.100,00	65,68	60	55	8
23,400.93	71,43	9.050,00	65,68	70	21	4
28,482.03	89,29	11.312,50	65,68	70	28	5
33,563.12	107,14	13.575,00	65,68	70	34	6
38,644.21	125,00	15.837,50	65,68	70	41	7
43,725.30	142,86	18.100,00	65,68	70	47	8
23,508.97	71,43	9.050,00	65,68	80	19	4
28,166.45	89,29	11.312,50	65,68	80	24	5
32,823.92	107,14	13.575,00	65,68	80	30	6
37,481.39	125,00	15.837,50	65,68	80	36	7
42,138.86	142,86	18.100,00	65,68	80	41	8
26,273.40	71,43	9.050,00	65,68	120	12	4
29,942.42	89,29	11.312,50	65,68	120	16	5
33,611.45	107,14	13.575,00	65,68	120	20	6
37,280.47	125,00	15.837,50	65,68	120	24	7
40,949.49	142,86	18.100,00	65,68	120	28	8
30,670.42	71,43	9.050,00	65,68	160	9	4
33,845.21	89,29	11.312,50	65,68	160	12	5
37,020.01	107,14	13.575,00	65,68	160	15	6
40,194.81	125,00	15.837,50	65,68	160	18	7
43,369.61	142,86	18.100,00	65,68	160	21	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

APÊNDICE B – Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, aerogerador de 3 m de diâmetro e velocidade média do vento de 5 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	Can (Ah)	$DDTE$ (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	tf (hora)
21,261.67	71,43	9.050,00	128,27	60	20	4
26,907.59	89,29	11.312,50	128,27	60	27	5
32,553.51	107,14	13.575,00	128,27	60	35	6
38,199.43	125,00	15.837,50	128,27	60	43	7
43,845.35	142,86	18.100,00	128,27	60	50	8
21,278.31	71,43	9.050,00	128,27	70	17	4
26,359.41	89,29	11.312,50	128,27	70	24	5
31,440.50	107,14	13.575,00	128,27	70	30	6
36,521.59	125,00	15.837,50	128,27	70	36	7
41,602.68	142,86	18.100,00	128,27	70	43	8
21,667.64	71,43	9.050,00	128,27	80	15	4
26,325.11	89,29	11.312,50	128,27	80	21	5
30,982.59	107,14	13.575,00	128,27	80	26	6
35,640.06	125,00	15.837,50	128,27	80	32	7
40,297.53	142,86	18.100,00	128,27	80	38	8
25,088.41	71,43	9.050,00	128,27	120	10	4
28,757.44	89,29	11.312,50	128,27	120	14	5
32,426.46	107,14	13.575,00	128,27	120	17	6
36,095.48	125,00	15.837,50	128,27	120	21	7
39,764.50	142,86	18.100,00	128,27	120	25	8
29,813.60	71,43	9.050,00	128,27	160	7	4
32,988.40	89,29	11.312,50	128,27	160	10	5
36,163.20	107,14	13.575,00	128,27	160	13	6
39,337.99	125,00	15.837,50	128,27	160	16	7
42,512.79	142,86	18.100,00	128,27	160	19	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

APÊNDICE C – Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, de aerogerador de 3 m de diâmetro e velocidade média do vento de 6 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CNA (Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	tf (hora)
17,535.64	71,43	9.050,00	221,66	60	12	4
23,181.55	89,29	11.312,50	221,66	60	20	5
28,827.47	107,14	13.575,00	221,66	60	28	6
34,473.39	125,00	15.837,50	221,66	60	35	7
40,119.31	142,86	18.100,00	221,66	60	43	8
18,111.78	71,43	9.050,00	221,66	70	11	4
23,192.87	89,29	11.312,50	221,66	70	17	5
28,273.96	107,14	13.575,00	221,66	70	24	6
33,355.06	125,00	15.837,50	221,66	70	30	7
38,436.15	142,86	18.100,00	221,66	70	37	8
18,920.74	71,43	9.050,00	221,66	80	9	4
23,578.21	89,29	11.312,50	221,66	80	15	5
28,235.68	107,14	13.575,00	221,66	80	21	6
32,893.15	125,00	15.837,50	221,66	80	26	7
37,550.62	142,86	18.100,00	221,66	80	32	8
23,320.65	71,43	9.050,00	221,66	120	6	4
26,989.67	89,29	11.312,50	221,66	120	10	5
30,658.69	107,14	13.575,00	221,66	120	14	6
34,327.71	125,00	15.837,50	221,66	120	18	7
37,996.73	142,86	18.100,00	221,66	120	21	8
28,535.40	71,43	9.050,00	221,66	160	5	4
31,710.20	89,29	11.312,50	221,66	160	7	5
34,884.99	107,14	13.575,00	221,66	160	10	6
38,059.79	125,00	15.837,50	221,66	160	13	7
41,234.59	142,86	18.100,00	221,66	160	16	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

APÊNDICE D – Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, de aerogerador de 3 m de diâmetro e velocidade média do vento de 7 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CNA (Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	tf (hora)
12,335.56	71,43	9.050,00	351,98	60	2	4
17,981.48	89,29	11.312,50	351,98	60	10	5
23,627.40	107,14	13.575,00	351,98	60	17	6
29,273.32	125,00	15.837,50	351,98	60	25	7
34,919.24	142,86	18.100,00	351,98	60	32	8
13,692.56	71,43	9.050,00	351,98	70	2	4
18,773.65	89,29	11.312,50	351,98	70	8	5
23,854.74	107,14	13.575,00	351,98	70	15	6
28,935.83	125,00	15.837,50	351,98	70	21	7
34,016.92	142,86	18.100,00	351,98	70	28	8
15,087.15	71,43	9.050,00	351,98	80	2	4
19,744.62	89,29	11.312,50	351,98	80	7	5
24,402.09	107,14	13.575,00	351,98	80	13	6
29,059.56	125,00	15.837,50	351,98	80	18	7
33,717.03	142,86	18.100,00	351,98	80	24	8
20,853.54	71,43	9.050,00	351,98	120	1	4
24,522.56	89,29	11.312,50	351,98	120	5	5
28,191.58	107,14	13.575,00	351,98	120	9	6
31,860.61	125,00	15.837,50	351,98	120	12	7
35,529.63	142,86	18.100,00	351,98	120	16	8
26,751.54	71,43	9.050,00	351,98	160	1	4
29,926.33	89,29	11.312,50	351,98	160	4	5
33,101.13	107,14	13.575,00	351,98	160	6	6
36,275.93	125,00	15.837,50	351,98	160	9	7
39,450.73	142,86	18.100,00	351,98	160	12	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

APÊNDICE E – Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, de aerogerador de 3 m de diâmetro e velocidade média do vento de 9 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CNA (Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	tf (hora)
3,046.38	71,43	9.050,00	748,09	0	0	4
4,738.50	89,29	11.312,50	748,09	0	0	5
6,430.63	107,14	13.575,00	748,09	0	0	6
8,122.75	125,00	15.837,50	748,09	0	0	7
19,114.29	142,86	18.100,00	748,09	60	0	8
3,046.38	71,43	9.050,00	748,09	0	0	4
4,738.50	89,29	11.312,50	748,09	0	0	5
6,430.63	107,14	13.575,00	748,09	0	0	6
8,122.75	125,00	15.837,50	748,09	0	0	7
20,585.26	142,86	18.100,00	748,09	70	0	8
3,046.38	71,43	9.050,00	748,09	0	0	4
4,738.50	89,29	11.312,50	748,09	0	0	5
6,430.63	107,14	13.575,00	748,09	0	0	6
8,122.75	125,00	15.837,50	748,09	0	0	7
22,065.33	142,86	18.100,00	748,09	80	0	8
3,046.38	71,43	9.050,00	748,09	0	0	4
4,738.50	89,29	11.312,50	748,09	0	0	5
6,430.63	107,14	13.575,00	748,09	0	0	6
8,122.75	125,00	15.837,50	748,09	0	0	7
28,031.18	142,86	18.100,00	748,09	120	0	8
3,046.38	71,43	9.050,00	748,09	0	0	4
4,738.50	89,29	11.312,50	748,09	0	0	5
6,430.63	107,14	13.575,00	748,09	0	0	6
8,122.75	125,00	15.837,50	748,09	0	0	7
34,028.91	142,86	18.100,00	748,09	160	0	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

APÊNDICE F – Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, de aerogerador de 4 m de diâmetro e velocidade média do vento de 4 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CNA (Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	tf (hora)
21,721.17	71,43	9.050,00	116,76	60	21	4
27,367.09	89,29	11.312,50	116,76	60	28	5
33,013.01	107,14	13.575,00	116,76	60	36	6
38,658.93	125,00	15.837,50	116,76	60	43	7
44,304.85	142,86	18.100,00	116,76	60	51	8
21,668.81	71,43	9.050,00	116,76	70	18	4
26,749.91	89,29	11.312,50	116,76	70	24	5
31,831.00	107,14	13.575,00	116,76	70	31	6
36,912.09	125,00	15.837,50	116,76	70	37	7
41,993.18	142,86	18.100,00	116,76	70	44	8
22,006.40	71,43	9.050,00	116,76	80	16	4
26,663.87	89,29	11.312,50	116,76	80	21	5
31,321.34	107,14	13.575,00	116,76	80	27	6
35,978.81	125,00	15.837,50	116,76	80	33	7
40,636.28	142,86	18.100,00	116,76	80	38	8
25,306.42	71,43	9.050,00	116,76	120	10	4
28,975.44	89,29	11.312,50	116,76	120	14	5
32,644.46	107,14	13.575,00	116,76	120	18	6
36,313.48	125,00	15.837,50	116,76	120	22	7
39,982.51	142,86	18.100,00	116,76	120	25	8
29,971.23	71,43	9.050,00	116,76	160	8	4
33,146.03	89,29	11.312,50	116,76	160	11	5
36,320.83	107,14	13.575,00	116,76	160	13	6
39,495.62	125,00	15.837,50	116,76	160	16	7
42,670.42	142,86	18.100,00	116,76	160	19	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

APÊNDICE G – Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, de aerogerador de 4 m de diâmetro e velocidade média do vento de 5 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CNA (Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	tf (hora)
17,280.86	71,43	9.050,00	228,04	60	12	4
22,926.78	89,29	11.312,50	228,04	60	19	5
28,572.70	107,14	13.575,00	228,04	60	27	6
34,218.62	125,00	15.837,50	228,04	60	35	7
39,864.54	142,86	18.100,00	228,04	60	42	8
17,895.27	71,43	9.050,00	228,04	70	10	4
22,976.36	89,29	11.312,50	228,04	70	17	5
28,057.45	107,14	13.575,00	228,04	70	23	6
33,138.54	125,00	15.837,50	228,04	70	30	7
38,219.63	142,86	18.100,00	228,04	70	36	8
18,732.92	71,43	9.050,00	228,04	80	9	4
23,390.39	89,29	11.312,50	228,04	80	15	5
28,047.86	107,14	13.575,00	228,04	80	20	6
32,705.33	125,00	15.837,50	228,04	80	26	7
37,362.80	142,86	18.100,00	228,04	80	32	8
23,199.77	71,43	9.050,00	228,04	120	6	4
26,868.80	89,29	11.312,50	228,04	120	10	5
30,537.82	107,14	13.575,00	228,04	120	14	6
34,206.84	125,00	15.837,50	228,04	120	17	7
37,875.86	142,86	18.100,00	228,04	120	21	8
28,448.00	71,43	9.050,00	228,04	160	4	4
31,622.80	89,29	11.312,50	228,04	160	7	5
34,797.60	107,14	13.575,00	228,04	160	10	6
37,972.39	125,00	15.837,50	228,04	160	13	7
41,147.19	142,86	18.100,00	228,04	160	16	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

APÊNDICE H – Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, de aerogerador de 5 m de diâmetro e velocidade média do vento de 4 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CNA (Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	tf (hora)
19,100.66	71,43	9.050,00	182,43	60	16	4
24,746.58	89,29	11.312,50	182,43	60	23	5
30,392.50	107,14	13.575,00	182,43	60	31	6
36,038.42	125,00	15.837,50	182,43	60	38	7
41,684.34	142,86	18.100,00	182,43	60	46	8
19,441.80	71,43	9.050,00	182,43	70	13	4
24,522.89	89,29	11.312,50	182,43	70	20	5
29,603.99	107,14	13.575,00	182,43	70	26	6
34,685.08	125,00	15.837,50	182,43	70	33	7
39,766.17	142,86	18.100,00	182,43	70	39	8
20,074.51	71,43	9.050,00	182,43	80	12	4
24,731.98	89,29	11.312,50	182,43	80	17	5
29,389.45	107,14	13.575,00	182,43	80	23	6
34,046.92	125,00	15.837,50	182,43	80	29	7
38,704.39	142,86	18.100,00	182,43	80	34	8
24,063.15	71,43	9.050,00	182,43	120	8	4
27,732.17	89,29	11.312,50	182,43	120	12	5
31,401.20	107,14	13.575,00	182,43	120	15	6
35,070.22	125,00	15.837,50	182,43	120	19	7
38,739.24	142,86	18.100,00	182,43	120	23	8
29,072.27	71,43	9.050,00	182,43	160	6	4
32,247.07	89,29	11.312,50	182,43	160	9	5
35,421.87	107,14	13.575,00	182,43	160	11	6
38,596.67	125,00	15.837,50	182,43	160	14	7
41,771.47	142,86	18.100,00	182,43	160	17	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

APÊNDICE I – Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, de aerogerador de 5 m de diâmetro e velocidade média do vento de 5 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CNA (Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	tf (hora)
12,162.68	71,43	9.050,00	356,31	60	2	4
17,808.60	89,29	11.312,50	356,31	60	9	5
23,454.52	107,14	13.575,00	356,31	60	17	6
29,100.44	125,00	15.837,50	356,31	60	24	7
34,746.36	142,86	18.100,00	356,31	60	32	8
13,545.63	71,43	9.050,00	356,31	70	1	4
18,626.73	89,29	11.312,50	356,31	70	8	5
23,707.82	107,14	13.575,00	356,31	70	14	6
28,788.91	125,00	15.837,50	356,31	70	21	7
33,870.00	142,86	18.100,00	356,31	70	27	8
14,959.70	71,43	9.050,00	356,31	80	1	4
19,617.17	89,29	11.312,50	356,31	80	7	5
24,274.64	107,14	13.575,00	356,31	80	13	6
28,932.11	125,00	15.837,50	356,31	80	18	7
33,589.58	142,86	18.100,00	356,31	80	24	8
20,771.52	71,43	9.050,00	356,31	120	1	4
24,440.54	89,29	11.312,50	356,31	120	5	5
28,109.56	107,14	13.575,00	356,31	120	8	6
31,778.59	125,00	15.837,50	356,31	120	12	7
35,447.61	142,86	18.100,00	356,31	120	16	8
26,692.23	71,43	9.050,00	356,31	160	1	4
29,867.03	89,29	11.312,50	356,31	160	3	5
33,041.83	107,14	13.575,00	356,31	160	6	6
36,216.62	125,00	15.837,50	356,31	160	9	7
39,391.42	142,86	18.100,00	356,31	160	12	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

APÊNDICE J – Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, de aerogerador de 5 m de diâmetro e velocidade média do vento de 6 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CNA (Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	tf (hora)
2,776.33	71,43	9.050,00	615,71	0	0	4
4,468.45	89,29	11.312,50	615,71	0	0	5
6,160.58	107,14	13.575,00	615,71	0	0	6
18,750.33	125,00	15.837,50	615,71	60	4	7
24,396.25	142,86	18.100,00	615,71	60	11	8
2,776.33	71,43	9.050,00	615,71	0	0	4
4,468.45	89,29	11.312,50	615,71	0	0	5
6,160.58	107,14	13.575,00	615,71	0	0	6
19,992.99	125,00	15.837,50	615,71	70	3	7
25,074.08	142,86	18.100,00	615,71	70	9	8
2,776.33	71,43	9.050,00	615,71	0	0	4
4,468.45	89,29	11.312,50	615,71	0	0	5
6,160.58	107,14	13.575,00	615,71	0	0	6
21,301.83	125,00	15.837,50	615,71	80	3	7
25,959.30	142,86	18.100,00	615,71	80	8	8
2,776.33	71,43	9.050,00	615,71	0	0	4
4,468.45	89,29	11.312,50	615,71	0	0	5
6,160.58	107,14	13.575,00	615,71	0	0	6
26,868.12	125,00	15.837,50	615,71	120	2	7
30,537.14	142,86	18.100,00	615,71	120	6	8
2,776.33	71,43	9.050,00	615,71	0	0	4
4,468.45	89,29	11.312,50	615,71	0	0	5
6,160.58	107,14	13.575,00	615,71	0	0	6
32,666.06	125,00	15.837,50	615,71	160	1	7
35,840.86	142,86	18.100,00	615,71	160	4	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

APÊNDICE K – Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, de aerogerador de 5 m de diâmetro e velocidade média do vento de 7 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CNA (Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	tf (hora)
3,514.83	71,43	9.050,00	977,72	0	0	4
5,206.96	89,29	11.312,50	977,72	0	0	5
6,899.08	107,14	13.575,00	977,72	0	0	6
8,591.21	125,00	15.837,50	977,72	0	0	7
10,283.33	142,86	18.100,00	977,72	0	0	8
3,514.83	71,43	9.050,00	977,72	0	0	4
5,206.96	89,29	11.312,50	977,72	0	0	5
6,899.08	107,14	13.575,00	977,72	0	0	6
8,591.21	125,00	15.837,50	977,72	0	0	7
10,283.33	142,86	18.100,00	977,72	0	0	8
3,514.83	71,43	9.050,00	977,72	0	0	4
5,206.96	89,29	11.312,50	977,72	0	0	5
6,899.08	107,14	13.575,00	977,72	0	0	6
8,591.21	125,00	15.837,50	977,72	0	0	7
10,283.33	142,86	18.100,00	977,72	0	0	8
3,514.83	71,43	9.050,00	977,72	0	0	4
5,206.96	89,29	11.312,50	977,72	0	0	5
6,899.08	107,14	13.575,00	977,72	0	0	6
8,591.21	125,00	15.837,50	977,72	0	0	7
10,283.33	142,86	18.100,00	977,72	0	0	8
3,514.83	71,43	9.050,00	977,72	0	0	4
5,206.96	89,29	11.312,50	977,72	0	0	5
6,899.08	107,14	13.575,00	977,72	0	0	6
8,591.21	125,00	15.837,50	977,72	0	0	7
10,283.33	142,86	18.100,00	977,72	0	0	8

Observação: Sistema unicamente eólico.

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

APÊNDICE L – Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, de aerogerador de 6 m de diâmetro e velocidade média do vento de 4 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CNA (Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	tf (hora)
15,897.82	71,43	9.050,00	262,70	60	9	4
21,543.74	89,29	11.312,50	262,70	60	17	5
27,189.66	107,14	13.575,00	262,70	60	24	6
32,835.57	125,00	15.837,50	262,70	60	32	7
38,481.49	142,86	18.100,00	262,70	60	39	8
16,719.90	71,43	9.050,00	262,70	70	8	4
21,800.99	89,29	11.312,50	262,70	70	14	5
26,882.08	107,14	13.575,00	262,70	70	21	6
31,963.17	125,00	15.837,50	262,70	70	27	7
37,044.27	142,86	18.100,00	262,70	70	34	8
17,713.31	71,43	9.050,00	262,70	80	7	4
22,370.78	89,29	11.312,50	262,70	80	13	5
27,028.25	107,14	13.575,00	262,70	80	18	6
31,685.72	125,00	15.837,50	262,70	80	24	7
36,343.19	142,86	18.100,00	262,70	80	29	8
22,543.61	71,43	9.050,00	262,70	120	5	4
26,212.63	89,29	11.312,50	262,70	120	8	5
29,881.65	107,14	13.575,00	262,70	120	12	6
33,550.67	125,00	15.837,50	262,70	120	16	7
37,219.69	142,86	18.100,00	262,70	120	20	8
27,973.55	71,43	9.050,00	262,70	160	3	4
31,148.35	89,29	11.312,50	262,70	160	6	5
34,323.15	107,14	13.575,00	262,70	160	9	6
37,497.95	125,00	15.837,50	262,70	160	12	7
40,672.74	142,86	18.100,00	262,70	160	15	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

APÊNDICE M – Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, de aerogerador de 6 m de diâmetro e velocidade média do vento de 5 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CNA (Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	tf (hora)
2,566.99	71,43	9.050,00	513,09	0	0	4
4,259.11	89,29	11.312,50	513,09	0	0	5
17,198.96	107,14	13.575,00	513,09	60	4	6
22,844.88	125,00	15.837,50	513,09	60	12	7
28,490.80	142,86	18.100,00	513,09	60	19	8
2,566.99	71,43	9.050,00	513,09	0	0	4
4,259.11	89,29	11.312,50	513,09	0	0	5
18,391.60	107,14	13.575,00	513,09	70	4	6
23,472.69	125,00	15.837,50	513,09	70	10	7
28,553.78	142,86	18.100,00	513,09	70	17	8
2,566.99	71,43	9.050,00	513,09	0	0	4
4,259.11	89,29	11.312,50	513,09	0	0	5
19,662.93	107,14	13.575,00	513,09	80	3	6
24,320.40	125,00	15.837,50	513,09	80	9	7
28,977.87	142,86	18.100,00	513,09	80	14	8
2,566.99	71,43	9.050,00	513,09	0	0	4
4,259.11	89,29	11.312,50	513,09	0	0	5
25,141.70	107,14	13.575,00	513,09	120	2	6
28,810.72	125,00	15.837,50	513,09	120	6	7
32,479.74	142,86	18.100,00	513,09	120	10	8
2,566.99	71,43	9.050,00	513,09	0	0	4
4,259.11	89,29	11.312,50	513,09	0	0	5
30,895.88	107,14	13.575,00	513,09	160	2	6
34,070.68	125,00	15.837,50	513,09	160	4	7
37,245.48	142,86	18.100,00	513,09	160	7	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

APÊNDICE N – Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, de aerogerador de 6 m de diâmetro e velocidade média do vento de 6 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	<i>Can</i> (Ah)	<i>DDTE</i> (Wh)	P_a (W)	<i>PM</i> (W)	<i>NM</i> (Unid)	<i>tf</i> (hora)
3,328.99	71,43	9.050,00	886,62	0	0	4
5,021.11	89,29	11.312,50	886,62	0	0	5
6,713.24	107,14	13.575,00	886,62	0	0	6
8,405.36	125,00	15.837,50	886,62	0	0	7
10,097.49	142,86	18.100,00	886,62	0	0	8
3,328.99	71,43	9.050,00	886,62	0	0	4
5,021.11	89,29	11.312,50	886,62	0	0	5
6,713.24	107,14	13.575,00	886,62	0	0	6
8,405.36	125,00	15.837,50	886,62	0	0	7
10,097.49	142,86	18.100,00	886,62	0	0	8
3,328.99	71,43	9.050,00	886,62	0	0	4
5,021.11	89,29	11.312,50	886,62	0	0	5
6,713.24	107,14	13.575,00	886,62	0	0	6
8,405.36	125,00	15.837,50	886,62	0	0	7
10,097.49	142,86	18.100,00	886,62	0	0	8
3,328.99	71,43	9.050,00	886,62	0	0	4
5,021.11	89,29	11.312,50	886,62	0	0	5
6,713.24	107,14	13.575,00	886,62	0	0	6
8,405.36	125,00	15.837,50	886,62	0	0	7
10,097.49	142,86	18.100,00	886,62	0	0	8
3,328.99	71,43	9.050,00	886,62	0	0	4
5,021.11	89,29	11.312,50	886,62	0	0	5
6,713.24	107,14	13.575,00	886,62	0	0	6
8,405.36	125,00	15.837,50	886,62	0	0	7
10,097.49	142,86	18.100,00	886,62	0	0	8

Observação: Sistema unicamente eólico.

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

APÊNDICE O – Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, de aerogerador de 7 m de diâmetro e velocidade média do vento de 5 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CNA (Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	tf (hora)
2,944.96	71,43	9.050,00	698,37	0	0	4
4,637.09	89,29	11.312,50	698,37	0	0	5
6,329.21	107,14	13.575,00	698,37	0	0	6
8,021.34	125,00	15.837,50	698,37	0	0	7
21,097.87	142,86	18.100,00	698,37	60	4	8
2,944.96	71,43	9.050,00	698,37	0	0	4
4,637.09	89,29	11.312,50	698,37	0	0	5
6,329.21	107,14	13.575,00	698,37	0	0	6
8,021.34	125,00	15.837,50	698,37	0	0	7
22,270.98	142,86	18.100,00	698,37	70	4	8
2,944.96	71,43	9.050,00	698,37	0	0	4
4,637.09	89,29	11.312,50	698,37	0	0	5
6,329.21	107,14	13.575,00	698,37	0	0	6
8,021.34	125,00	15.837,50	698,37	0	0	7
23,527.67	142,86	18.100,00	698,37	80	3	8
2,944.96	71,43	9.050,00	698,37	0	0	4
4,637.09	89,29	11.312,50	698,37	0	0	5
6,329.21	107,14	13.575,00	698,37	0	0	6
8,021.34	125,00	15.837,50	698,37	0	0	7
28,972.27	142,86	18.100,00	698,37	120	2	8
2,944.96	71,43	9.050,00	698,37	0	0	4
4,637.09	89,29	11.312,50	698,37	0	0	5
6,329.21	107,14	13.575,00	698,37	0	0	6
8,021.34	125,00	15.837,50	698,37	0	0	7
34,709.36	142,86	18.100,00	698,37	160	2	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

APÊNDICE P – Custo estimado para motor elétrico de 3 HP, de aerogerador de 7 m de diâmetro e velocidade média do vento de 6 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	<i>CNA</i> (Ah)	<i>DDTE</i> (Wh)	P_a (W)	<i>PM</i> (W)	<i>NM</i> (Unid)	<i>tf</i> (hora)
3,982.13	71,43	9.050,00	1.206,79	0	0	4
5,674.26	89,29	11.312,50	1.206,79	0	0	5
7,366.38	107,14	13.575,00	1.206,79	0	0	6
9,058.51	125,00	15.837,50	1.206,79	0	0	7
10,750.63	142,86	18.100,00	1.206,79	0	0	8
3,982.13	71,43	9.050,00	1.206,79	0	0	4
5,674.26	89,29	11.312,50	1.206,79	0	0	5
7,366.38	107,14	13.575,00	1.206,79	0	0	6
9,058.51	125,00	15.837,50	1.206,79	0	0	7
10,750.63	142,86	18.100,00	1.206,79	0	0	8
3,982.13	71,43	9.050,00	1.206,79	0	0	4
5,674.26	89,29	11.312,50	1.206,79	0	0	5
7,366.38	107,14	13.575,00	1.206,79	0	0	6
9,058.51	125,00	15.837,50	1.206,79	0	0	7
10,750.63	142,86	18.100,00	1.206,79	0	0	8
3,982.13	71,43	9.050,00	1.206,79	0	0	4
5,674.26	89,29	11.312,50	1.206,79	0	0	5
7,366.38	107,14	13.575,00	1.206,79	0	0	6
9,058.51	125,00	15.837,50	1.206,79	0	0	7
10,750.63	142,86	18.100,00	1.206,79	0	0	8
3,982.13	71,43	9.050,00	1.206,79	0	0	4
5,674.26	89,29	11.312,50	1.206,79	0	0	5
7,366.38	107,14	13.575,00	1.206,79	0	0	6
9,058.51	125,00	15.837,50	1.206,79	0	0	7
10,750.63	142,86	18.100,00	1.206,79	0	0	8

Observação: Sistema unicamente eólico.

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

APÊNDICE Q – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, de aerogerador de 3 m de diâmetro e velocidade média do vento de 4 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CNA (Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	tf (hora)
38,815.13	119,05	15.083,33	65,68	60	45	4
48,225.00	148,81	18.854,17	65,68	60	58	5
57,634.86	178,57	22.625,00	65,68	60	70	6
67,044.73	208,33	26.395,83	65,68	60	83	7
76,454.59	238,10	30.166,67	65,68	60	95	8
36,950.51	119,05	15.083,33	65,68	70	39	4
45,419.00	148,81	18.854,17	65,68	70	49	5
53,887.48	178,57	22.625,00	65,68	70	60	6
62,355.97	208,33	26.395,83	65,68	70	71	7
70,824.45	238,10	30.166,67	65,68	70	82	8
35,928.90	119,05	15.083,33	65,68	80	34	4
43,691.35	148,81	18.854,17	65,68	80	43	5
51,453.80	178,57	22.625,00	65,68	80	53	6
59,216.25	208,33	26.395,83	65,68	80	62	7
66,978.70	238,10	30.166,67	65,68	80	71	8
36,057.46	119,05	15.083,33	65,68	120	23	4
42,172.50	148,81	18.854,17	65,68	120	29	5
48,287.54	178,57	22.625,00	65,68	120	35	6
54,402.57	208,33	26.395,83	65,68	120	41	7
60,517.61	238,10	30.166,67	65,68	120	48	8
39,136.54	119,05	15.083,33	65,68	160	17	4
44,427.87	148,81	18.854,17	65,68	160	22	5
49,719.20	178,57	22.625,00	65,68	160	26	6
55,010.53	208,33	26.395,83	65,68	160	31	7
60,301.86	238,10	30.166,67	65,68	160	36	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

APÊNDICE R – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, de aerogerador de 3 m de diâmetro e velocidade média do vento de 6 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	<i>CNA</i> (Ah)	<i>DDTE</i> (Wh)	P_a (W)	<i>PM</i> (W)	<i>NM</i> (Unid)	<i>tf</i> (hora)
32,591.42	119,05	15.083,33	221,66	60	33	4
42,001.29	148,81	18.854,17	221,66	60	45	5
51,411.15	178,57	22.625,00	221,66	60	58	6
60,821.02	208,33	26.395,83	221,66	60	70	7
70,230.88	238,10	30.166,67	221,66	60	83	8
31,661.36	119,05	15.083,33	221,66	70	28	4
40,129.84	148,81	18.854,17	221,66	70	39	5
48,598.33	178,57	22.625,00	221,66	70	49	6
57,066.82	208,33	26.395,83	221,66	70	60	7
65,535.30	238,10	30.166,67	221,66	70	71	8
31,340.66	119,05	15.083,33	221,66	80	24	4
39,103.11	148,81	18.854,17	221,66	80	34	5
46,865.56	178,57	22.625,00	221,66	80	43	6
54,628.02	208,33	26.395,83	221,66	80	53	7
62,390.47	238,10	30.166,67	221,66	80	62	8
33,104.71	119,05	15.083,33	221,66	120	16	4
39,219.74	148,81	18.854,17	221,66	120	23	5
45,334.78	178,57	22.625,00	221,66	120	29	6
51,449.82	208,33	26.395,83	221,66	120	35	7
57,564.85	238,10	30.166,67	221,66	120	41	8
37,001.53	119,05	15.083,33	221,66	160	12	4
42,292.86	148,81	18.854,17	221,66	160	17	5
47,584.19	178,57	22.625,00	221,66	160	22	6
52,875.52	208,33	26.395,83	221,66	160	26	7
58,166.85	238,10	30.166,67	221,66	160	31	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

APÊNDICE S – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, de aerogerador de 3 m de diâmetro e velocidade média do vento de 7 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	<i>CNA</i> (Ah)	<i>DDTE</i> (Wh)	P_a (W)	<i>PM</i> (W)	<i>NM</i> (Unid)	<i>tf</i> (hora)
27,391.35	119,05	15.083,33	351,98	60	22	4
36,801.21	148,81	18.854,17	351,98	60	35	5
46,211.08	178,57	22.625,00	351,98	60	47	6
55,620.94	208,33	26.395,83	351,98	60	60	7
65,030.81	238,10	30.166,67	351,98	60	72	8
27,242.13	119,05	15.083,33	351,98	70	19	4
35,710.62	148,81	18.854,17	351,98	70	30	5
44,179.10	178,57	22.625,00	351,98	70	41	6
52,647.59	208,33	26.395,83	351,98	70	51	7
61,116.08	238,10	30.166,67	351,98	70	62	8
27,507.07	119,05	15.083,33	351,98	80	17	4
35,269.52	148,81	18.854,17	351,98	80	26	5
43,031.97	178,57	22.625,00	351,98	80	35	6
50,794.43	208,33	26.395,83	351,98	80	45	7
58,556.88	238,10	30.166,67	351,98	80	54	8
30,637.60	119,05	15.083,33	351,98	120	11	4
36,752.64	148,81	18.854,17	351,98	120	17	5
42,867.67	178,57	22.625,00	351,98	120	24	6
48,982.71	208,33	26.395,83	351,98	120	30	7
55,097.75	238,10	30.166,67	351,98	120	36	8
35,217.66	119,05	15.083,33	351,98	160	8	4
40,508.99	148,81	18.854,17	351,98	160	13	5
45,800.32	178,57	22.625,00	351,98	160	18	6
51,091.65	208,33	26.395,83	351,98	160	22	7
56,382.98	238,10	30.166,67	351,98	160	27	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

APÊNDICE T – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, de aerogerador de 4 m de diâmetro e velocidade média do vento de 4 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	<i>CNA</i> (Ah)	<i>DDTE</i> (Wh)	P_a (W)	<i>PM</i> (W)	<i>NM</i> (Unid)	<i>tf</i> (hora)
36,776.96	119,05	15.083,33	116,76	60	41	4
46,186.82	148,81	18.854,17	116,76	60	54	5
55,596.69	178,57	22.625,00	116,76	60	66	6
65,006.55	208,33	26.395,83	116,76	60	79	7
74,416.42	238,10	30.166,67	116,76	60	91	8
35,218.39	119,05	15.083,33	116,76	70	35	4
43,686.88	148,81	18.854,17	116,76	70	46	5
52,155.36	178,57	22.625,00	116,76	70	57	6
60,623.85	208,33	26.395,83	116,76	70	67	7
69,092.33	238,10	30.166,67	116,76	70	78	8
34,426.32	119,05	15.083,33	116,76	80	31	4
42,188.77	148,81	18.854,17	116,76	80	40	5
49,951.22	178,57	22.625,00	116,76	80	50	6
57,713.67	208,33	26.395,83	116,76	80	59	7
65,476.12	238,10	30.166,67	116,76	80	68	8
35,090.48	119,05	15.083,33	116,76	120	20	4
41,205.51	148,81	18.854,17	116,76	120	27	5
47,320.55	178,57	22.625,00	116,76	120	33	6
53,435.59	208,33	26.395,83	116,76	120	39	7
59,550.62	238,10	30.166,67	116,76	120	46	8
38,437.36	119,05	15.083,33	116,76	160	15	4
43,728.69	148,81	18.854,17	116,76	160	20	5
49,020.02	178,57	22.625,00	116,76	160	25	6
54,311.35	208,33	26.395,83	116,76	160	29	7
59,602.68	238,10	30.166,67	116,76	160	34	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

APÊNDICE U – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, de aerogerador de 4 m de diâmetro e velocidade média do vento de 5 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CNA (Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	tf (hora)
32,336.65	119,05	15.083,33	228,04	60	32	4
41,746.51	148,81	18.854,17	228,04	60	45	5
51,156.38	178,57	22.625,00	228,04	60	57	6
60,566.24	208,33	26.395,83	228,04	60	70	7
69,976.11	238,10	30.166,67	228,04	60	82	8
31,444.84	119,05	15.083,33	228,04	70	27	4
39,913.33	148,81	18.854,17	228,04	70	38	5
48,381.82	178,57	22.625,00	228,04	70	49	6
56,850.30	208,33	26.395,83	228,04	70	60	7
65,318.79	238,10	30.166,67	228,04	70	71	8
31,152.84	119,05	15.083,33	228,04	80	24	4
38,915.29	148,81	18.854,17	228,04	80	33	5
46,677.74	178,57	22.625,00	228,04	80	43	6
54,440.19	208,33	26.395,83	228,04	80	52	7
62,202.64	238,10	30.166,67	228,04	80	62	8
32,983.83	119,05	15.083,33	228,04	120	16	4
39,098.87	148,81	18.854,17	228,04	120	22	5
45,213.91	178,57	22.625,00	228,04	120	29	6
51,328.94	208,33	26.395,83	228,04	120	35	7
57,443.98	238,10	30.166,67	228,04	120	41	8
36,914.13	119,05	15.083,33	228,04	160	12	4
42,205.46	148,81	18.854,17	228,04	160	17	5
47,496.79	178,57	22.625,00	228,04	160	21	6
52,788.12	208,33	26.395,83	228,04	160	26	7
58,079.45	238,10	30.166,67	228,04	160	31	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

APÊNDICE V – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, de aerogerador de 4 m de diâmetro e velocidade média do vento de 6 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CNA (Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	tf (hora)
25,712.58	119,05	15.083,33	394,05	60	19	4
35,122.45	148,81	18.854,17	394,05	60	31	5
44,532.31	178,57	22.625,00	394,05	60	44	6
53,942.18	208,33	26.395,83	394,05	60	56	7
63,352.04	238,10	30.166,67	394,05	60	69	8
25,815.45	119,05	15.083,33	394,05	70	16	4
34,283.94	148,81	18.854,17	394,05	70	27	5
42,752.42	178,57	22.625,00	394,05	70	38	6
51,220.91	208,33	26.395,83	394,05	70	48	7
59,689.40	238,10	30.166,67	394,05	70	59	8
26,269.46	119,05	15.083,33	394,05	80	14	4
34,031.91	148,81	18.854,17	394,05	80	23	5
41,794.36	178,57	22.625,00	394,05	80	33	6
49,556.81	208,33	26.395,83	394,05	80	42	7
57,319.26	238,10	30.166,67	394,05	80	52	8
29,841.13	119,05	15.083,33	394,05	120	9	4
35,956.17	148,81	18.854,17	394,05	120	16	5
42,071.21	178,57	22.625,00	394,05	120	22	6
48,186.24	208,33	26.395,83	394,05	120	28	7
54,301.28	238,10	30.166,67	394,05	120	35	8
34,641.77	119,05	15.083,33	394,05	160	7	4
39,933.10	148,81	18.854,17	394,05	160	12	5
45,224.43	178,57	22.625,00	394,05	160	16	6
50,515.76	208,33	26.395,83	394,05	160	21	7
55,807.09	238,10	30.166,67	394,05	160	26	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

APÊNDICE W – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, de aerogerador de 4 m de diâmetro e velocidade média do vento de 7 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CNA (Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	tf (hora)
16,887.79	119,05	15.083,33	625,74	60	1	4
25,877.87	148,81	18.854,17	625,74	60	13	5
35,287.74	178,57	22.625,00	625,74	60	25	6
44,697.60	208,33	26.395,83	625,74	60	38	7
54,107.47	238,10	30.166,67	625,74	60	50	8
18,385.19	119,05	15.083,33	625,74	70	1	4
26,427.54	148,81	18.854,17	625,74	70	11	5
34,896.02	178,57	22.625,00	625,74	70	22	6
43,364.51	208,33	26.395,83	625,74	70	33	7
51,832.99	238,10	30.166,67	625,74	70	43	8
19,892.59	119,05	15.083,33	625,74	80	1	4
27,216.64	148,81	18.854,17	625,74	80	10	5
34,979.09	178,57	22.625,00	625,74	80	19	6
42,741.54	208,33	26.395,83	625,74	80	28	7
50,503.99	238,10	30.166,67	625,74	80	38	8
25,922.19	119,05	15.083,33	625,74	120	1	4
31,570.20	148,81	18.854,17	625,74	120	6	5
37,685.24	178,57	22.625,00	625,74	120	13	6
43,800.28	208,33	26.395,83	625,74	120	19	7
49,915.31	238,10	30.166,67	625,74	120	25	8
31,951.79	119,05	15.083,33	625,74	160	1	4
36,761.79	148,81	18.854,17	625,74	160	5	5
42,053.12	178,57	22.625,00	625,74	160	10	6
47,344.45	208,33	26.395,83	625,74	160	14	7
52,635.78	238,10	30.166,67	625,74	160	19	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

APÊNDICE X – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, de aerogerador de 4 m de diâmetro e velocidade média do vento de 8 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CNA (Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	tf (hora)
7,938.08	119,05	15.083,33	934,05	0	0	4
10,758.29	148,81	18.854,17	934,05	0	0	5
22,985.90	178,57	22.625,00	934,05	60	1	6
32,395.76	208,33	26.395,83	934,05	60	13	7
41,805.63	238,10	30.166,67	934,05	60	26	8
7,938.08	119,05	15.083,33	934,05	0	0	4
10,758.29	148,81	18.854,17	934,05	0	0	5
24,441.44	178,57	22.625,00	934,05	70	1	6
32,909.93	208,33	26.395,83	934,05	70	11	7
41,378.41	238,10	30.166,67	934,05	70	22	8
7,938.08	119,05	15.083,33	934,05	0	0	4
10,758.29	148,81	18.854,17	934,05	0	0	5
25,909.95	178,57	22.625,00	934,05	80	1	6
33,672.40	208,33	26.395,83	934,05	80	10	7
41,434.85	238,10	30.166,67	934,05	80	19	8
7,938.08	119,05	15.083,33	934,05	0	0	4
10,758.29	148,81	18.854,17	934,05	0	0	5
31,848.80	178,57	22.625,00	934,05	120	0	6
37,963.84	208,33	26.395,83	934,05	120	7	7
44,078.87	238,10	30.166,67	934,05	120	13	8
7,938.08	119,05	15.083,33	934,05	0	0	4
10,758.29	148,81	18.854,17	934,05	0	0	5
37,833.02	178,57	22.625,00	934,05	160	0	6
43,124.35	208,33	26.395,83	934,05	160	5	7
48,415.68	238,10	30.166,67	934,05	160	10	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

APÊNDICE Y – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, de aerogerador de 4 m de diâmetro e velocidade média do vento de 9 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CNA (Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	tf (hora)
8,745.67	119,05	15.083,33	1.329,93	0	0	4
11,565.88	148,81	18.854,17	1.329,93	0	0	5
14,386.09	178,57	22.625,00	1.329,93	0	0	6
17,206.30	208,33	26.395,83	1.329,93	0	0	7
20,026.51	238,10	30.166,67	1.329,93	0	0	8
8,745.67	119,05	15.083,33	1.329,93	0	0	4
11,565.88	148,81	18.854,17	1.329,93	0	0	5
14,386.09	178,57	22.625,00	1.329,93	0	0	6
17,206.30	208,33	26.395,83	1.329,93	0	0	7
20,026.51	238,10	30.166,67	1.329,93	0	0	8
8,745.67	119,05	15.083,33	1.329,93	0	0	4
11,565.88	148,81	18.854,17	1.329,93	0	0	5
14,386.09	178,57	22.625,00	1.329,93	0	0	6
17,206.30	208,33	26.395,83	1.329,93	0	0	7
20,026.51	238,10	30.166,67	1.329,93	0	0	8
8,745.67	119,05	15.083,33	1.329,93	0	0	4
11,565.88	148,81	18.854,17	1.329,93	0	0	5
14,386.09	178,57	22.625,00	1.329,93	0	0	6
17,206.30	208,33	26.395,83	1.329,93	0	0	7
20,026.51	238,10	30.166,67	1.329,93	0	0	8
8,745.67	119,05	15.083,33	1.329,93	0	0	4
11,565.88	148,81	18.854,17	1.329,93	0	0	5
14,386.09	178,57	22.625,00	1.329,93	0	0	6
17,206.30	208,33	26.395,83	1.329,93	0	0	7
20,026.51	238,10	30.166,67	1.329,93	0	0	8

Observação: Sistema unicamente eólico.

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

APÊNDICE Z – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, de aerogerador de 5 m de diâmetro e velocidade média do vento de 4 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	<i>CNA</i> (Ah)	<i>DDTE</i> (Wh)	P_a (W)	<i>PM</i> (W)	<i>NM</i> (Unid)	<i>tf</i> (hora)
34,156.45	119,05	15.083,33	182,43	60	36	4
43,566.31	148,81	18.854,17	182,43	60	48	5
52,976.18	178,57	22.625,00	182,43	60	61	6
62,386.04	208,33	26.395,83	182,43	60	73	7
71,795.91	238,10	30.166,67	182,43	60	86	8
32,991.38	119,05	15.083,33	182,43	70	31	4
41,459.87	148,81	18.854,17	182,43	70	41	5
49,928.35	178,57	22.625,00	182,43	70	52	6
58,396.84	208,33	26.395,83	182,43	70	63	7
66,865.32	238,10	30.166,67	182,43	70	74	8
32,494.43	119,05	15.083,33	182,43	80	27	4
40,256.88	148,81	18.854,17	182,43	80	36	5
48,019.33	178,57	22.625,00	182,43	80	46	6
55,781.78	208,33	26.395,83	182,43	80	55	7
63,544.23	238,10	30.166,67	182,43	80	64	8
33,847.21	119,05	15.083,33	182,43	120	18	4
39,962.25	148,81	18.854,17	182,43	120	24	5
46,077.28	178,57	22.625,00	182,43	120	30	6
52,192.32	208,33	26.395,83	182,43	120	37	7
58,307.36	238,10	30.166,67	182,43	120	43	8
37,538.40	119,05	15.083,33	182,43	160	13	4
42,829.73	148,81	18.854,17	182,43	160	18	5
48,121.06	178,57	22.625,00	182,43	160	23	6
53,412.39	208,33	26.395,83	182,43	160	28	7
58,703.72	238,10	30.166,67	182,43	160	32	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

APÊNDICE AA – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, de aerogerador de 5 m de diâmetro e velocidade média do vento de 5 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	<i>CNA</i> (Ah)	<i>DDTE</i> (Wh)	P_a (W)	<i>PM</i> (W)	<i>NM</i> (Unid)	<i>tf</i> (hora)
27,218.47	119,05	15.083,33	356,31	60	22	4
36,628.33	148,81	18.854,17	356,31	60	34	5
46,038.20	178,57	22.625,00	356,31	60	47	6
55,448.06	208,33	26.395,83	356,31	60	59	7
64,857.93	238,10	30.166,67	356,31	60	72	8
27,095.21	119,05	15.083,33	356,31	70	19	4
35,563.70	148,81	18.854,17	356,31	70	29	5
44,032.18	178,57	22.625,00	356,31	70	40	6
52,500.67	208,33	26.395,83	356,31	70	51	7
60,969.15	238,10	30.166,67	356,31	70	62	8
27,379.62	119,05	15.083,33	356,31	80	16	4
35,142.07	148,81	18.854,17	356,31	80	26	5
42,904.52	178,57	22.625,00	356,31	80	35	6
50,666.97	208,33	26.395,83	356,31	80	45	7
58,429.43	238,10	30.166,67	356,31	80	54	8
30,555.58	119,05	15.083,33	356,31	120	11	4
36,670.62	148,81	18.854,17	356,31	120	17	5
42,785.65	178,57	22.625,00	356,31	120	23	6
48,900.69	208,33	26.395,83	356,31	120	30	7
55,015.73	238,10	30.166,67	356,31	120	36	8
35,158.36	119,05	15.083,33	356,31	160	8	4
40,449.69	148,81	18.854,17	356,31	160	13	5
45,741.02	178,57	22.625,00	356,31	160	18	6
51,032.35	208,33	26.395,83	356,31	160	22	7
56,323.68	238,10	30.166,67	356,31	160	27	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

APÊNDICE AB – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, de aerogerador de 5 m de diâmetro e velocidade média do vento de 6 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CNA (Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	tf (hora)
16,868.36	119,05	15.083,33	615,71	60	1	4
26,278.23	148,81	18.854,17	615,71	60	14	5
35,688.09	178,57	22.625,00	615,71	60	26	6
45,097.96	208,33	26.395,83	615,71	60	39	7
54,507.82	238,10	30.166,67	615,71	60	51	8
18,299.29	119,05	15.083,33	615,71	70	1	4
26,767.78	148,81	18.854,17	615,71	70	12	5
35,236.26	178,57	22.625,00	615,71	70	22	6
43,704.75	208,33	26.395,83	615,71	70	33	7
52,173.23	238,10	30.166,67	615,71	70	44	8
19,749.34	119,05	15.083,33	615,71	80	1	4
27,511.79	148,81	18.854,17	615,71	80	10	5
35,274.24	178,57	22.625,00	615,71	80	20	6
43,036.69	208,33	26.395,83	615,71	80	29	7
50,799.14	238,10	30.166,67	615,71	80	38	8
25,645.11	119,05	15.083,33	615,71	120	1	4
31,760.15	148,81	18.854,17	615,71	120	7	5
37,875.18	178,57	22.625,00	615,71	120	13	6
43,990.22	208,33	26.395,83	615,71	120	19	7
50,105.26	238,10	30.166,67	615,71	120	26	8
31,607.80	119,05	15.083,33	615,71	160	0	4
36,899.13	148,81	18.854,17	615,71	160	5	5
42,190.46	178,57	22.625,00	615,71	160	10	6
47,481.79	208,33	26.395,83	615,71	160	15	7
52,773.12	238,10	30.166,67	615,71	160	19	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

APÊNDICE AC – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, de aerogerador de 5 m de diâmetro e velocidade média do vento de 7 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CNA (Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	tf (hora)
8,027.17	119,05	15.083,33	977,72	0	0	4
10,847.38	148,81	18.854,17	977,72	0	0	5
13,667.58	178,57	22.625,00	977,72	0	0	6
30,653.31	208,33	26.395,83	977,72	60	10	7
40,063.17	238,10	30.166,67	977,72	60	22	8
8,027.17	119,05	15.083,33	977,72	0	0	4
10,847.38	148,81	18.854,17	977,72	0	0	5
13,667.58	178,57	22.625,00	977,72	0	0	6
31,429.12	208,33	26.395,83	977,72	70	8	7
39,897.60	238,10	30.166,67	977,72	70	19	8
8,027.17	119,05	15.083,33	977,72	0	0	4
10,847.38	148,81	18.854,17	977,72	0	0	5
13,667.58	178,57	22.625,00	977,72	0	0	6
32,387.83	208,33	26.395,83	977,72	80	7	7
40,150.28	238,10	30.166,67	977,72	80	17	8
8,027.17	119,05	15.083,33	977,72	0	0	4
10,847.38	148,81	18.854,17	977,72	0	0	5
13,667.58	178,57	22.625,00	977,72	0	0	6
37,137.15	208,33	26.395,83	977,72	120	5	7
43,252.19	238,10	30.166,67	977,72	120	11	8
8,027.17	119,05	15.083,33	977,72	0	0	4
10,847.38	148,81	18.854,17	977,72	0	0	5
13,667.58	178,57	22.625,00	977,72	0	0	6
42,526.61	208,33	26.395,83	977,72	160	4	7
47,817.94	238,10	30.166,67	977,72	160	8	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

APÊNDICE AD – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, de aerogerador de 5 m de diâmetro e velocidade média do vento de 8 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	<i>CNA</i> (Ah)	<i>DDTE</i> (Wh)	P_a (W)	<i>PM</i> (W)	<i>NM</i> (Unid)	<i>tf</i> (hora)
9,009.91	119,05	15.083,33	1.459,46	0	0	4
11,830.12	148,81	18.854,17	1.459,46	0	0	5
14,650.32	178,57	22.625,00	1.459,46	0	0	6
17,470.53	208,33	26.395,83	1.459,46	0	0	7
20,290.74	238,10	30.166,67	1.459,46	0	0	8
9,009.91	119,05	15.083,33	1.459,46	0	0	4
11,830.12	148,81	18.854,17	1.459,46	0	0	5
14,650.32	178,57	22.625,00	1.459,46	0	0	6
17,470.53	208,33	26.395,83	1.459,46	0	0	7
20,290.74	238,10	30.166,67	1.459,46	0	0	8
9,009.91	119,05	15.083,33	1.459,46	0	0	4
11,830.12	148,81	18.854,17	1.459,46	0	0	5
14,650.32	178,57	22.625,00	1.459,46	0	0	6
17,470.53	208,33	26.395,83	1.459,46	0	0	7
20,290.74	238,10	30.166,67	1.459,46	0	0	8
9,009.91	119,05	15.083,33	1.459,46	0	0	4
11,830.12	148,81	18.854,17	1.459,46	0	0	5
14,650.32	178,57	22.625,00	1.459,46	0	0	6
17,470.53	208,33	26.395,83	1.459,46	0	0	7
20,290.74	238,10	30.166,67	1.459,46	0	0	8
9,009.91	119,05	15.083,33	1.459,46	0	0	4
11,830.12	148,81	18.854,17	1.459,46	0	0	5
14,650.32	178,57	22.625,00	1.459,46	0	0	6
17,470.53	208,33	26.395,83	1.459,46	0	0	7
20,290.74	238,10	30.166,67	1.459,46	0	0	8

Observação: Sistema unicamente eólico.

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

APÊNDICE AE – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, de aerogerador de 6 m de diâmetro e velocidade média do vento de 4 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CNA (Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	tf (hora)
30,953.60	119,05	15.083,33	262,70	60	29	4
40,363.47	148,81	18.854,17	262,70	60	42	5
49,773.33	178,57	22.625,00	262,70	60	54	6
59,183.20	208,33	26.395,83	262,70	60	67	7
68,593.06	238,10	30.166,67	262,70	60	80	8
30,269.48	119,05	15.083,33	262,70	70	25	4
38,737.96	148,81	18.854,17	262,70	70	36	5
47,206.45	178,57	22.625,00	262,70	70	47	6
55,674.93	208,33	26.395,83	262,70	70	57	7
64,143.42	238,10	30.166,67	262,70	70	68	8
30,133.23	119,05	15.083,33	262,70	80	22	4
37,895.68	148,81	18.854,17	262,70	80	31	5
45,658.13	178,57	22.625,00	262,70	80	41	6
53,420.59	208,33	26.395,83	262,70	80	50	7
61,183.04	238,10	30.166,67	262,70	80	60	8
32,327.66	119,05	15.083,33	262,70	120	15	4
38,442.70	148,81	18.854,17	262,70	120	21	5
44,557.74	178,57	22.625,00	262,70	120	27	6
50,672.77	208,33	26.395,83	262,70	120	33	7
56,787.81	238,10	30.166,67	262,70	120	40	8
36,439.68	119,05	15.083,33	262,70	160	11	4
41,731.01	148,81	18.854,17	262,70	160	16	5
47,022.34	178,57	22.625,00	262,70	160	20	6
52,313.67	208,33	26.395,83	262,70	160	25	7
57,605.00	238,10	30.166,67	262,70	160	30	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

APÊNDICE AF – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, de aerogerador de 6 m de diâmetro e velocidade média do vento de 5 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CNA (Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	tf (hora)
20,962.91	119,05	15.083,33	513,09	60	9	4
30,372.77	148,81	18.854,17	513,09	60	22	5
39,782.64	178,57	22.625,00	513,09	60	34	6
49,192.50	208,33	26.395,83	513,09	60	47	7
58,602.37	238,10	30.166,67	513,09	60	60	8
21,778.99	119,05	15.083,33	513,09	70	8	4
30,247.48	148,81	18.854,17	513,09	70	19	5
38,715.97	178,57	22.625,00	513,09	70	29	6
47,184.45	208,33	26.395,83	513,09	70	40	7
55,652.94	238,10	30.166,67	513,09	70	51	8
22,767.91	119,05	15.083,33	513,09	80	7	4
30,530.36	148,81	18.854,17	513,09	80	16	5
38,292.81	178,57	22.625,00	513,09	80	26	6
46,055.26	208,33	26.395,83	513,09	80	35	7
53,817.71	238,10	30.166,67	513,09	80	45	8
27,587.71	119,05	15.083,33	513,09	120	5	4
33,702.75	148,81	18.854,17	513,09	120	11	5
39,817.79	178,57	22.625,00	513,09	120	17	6
45,932.82	208,33	26.395,83	513,09	120	23	7
52,047.86	238,10	30.166,67	513,09	120	30	8
33,012.41	119,05	15.083,33	513,09	160	3	4
38,303.74	148,81	18.854,17	513,09	160	8	5
43,595.07	178,57	22.625,00	513,09	160	13	6
48,886.40	208,33	26.395,83	513,09	160	18	7
54,177.73	238,10	30.166,67	513,09	160	22	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

APÊNDICE AG – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, de aerogerador de 6 m de diâmetro e velocidade média do vento de 7 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CNA (Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	tf (hora)
8,904.77	119,05	15.083,33	1.407,92	0	0	4
11,724.98	148,81	18.854,17	1.407,92	0	0	5
14,545.19	178,57	22.625,00	1.407,92	0	0	6
17,365.40	208,33	26.395,83	1.407,92	0	0	7
20,185.61	238,10	30.166,67	1.407,92	0	0	8
8,904.77	119,05	15.083,33	1.407,92	0	0	4
11,724.98	148,81	18.854,17	1.407,92	0	0	5
14,545.19	178,57	22.625,00	1.407,92	0	0	6
17,365.40	208,33	26.395,83	1.407,92	0	0	7
20,185.61	238,10	30.166,67	1.407,92	0	0	8
8,904.77	119,05	15.083,33	1.407,92	0	0	4
11,724.98	148,81	18.854,17	1.407,92	0	0	5
14,545.19	178,57	22.625,00	1.407,92	0	0	6
17,365.40	208,33	26.395,83	1.407,92	0	0	7
20,185.61	238,10	30.166,67	1.407,92	0	0	8
8,904.77	119,05	15.083,33	1.407,92	0	0	4
11,724.98	148,81	18.854,17	1.407,92	0	0	5
14,545.19	178,57	22.625,00	1.407,92	0	0	6
17,365.40	208,33	26.395,83	1.407,92	0	0	7
20,185.61	238,10	30.166,67	1.407,92	0	0	8
8,904.77	119,05	15.083,33	1.407,92	0	0	4
11,724.98	148,81	18.854,17	1.407,92	0	0	5
14,545.19	178,57	22.625,00	1.407,92	0	0	6
17,365.40	208,33	26.395,83	1.407,92	0	0	7
20,185.61	238,10	30.166,67	1.407,92	0	0	8

Observação: Sistema unicamente eólico.

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

APÊNDICE AH – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, de aerogerador de 7 m de diâmetro e velocidade média do vento de 4 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CNA (Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	tf (hora)
27,168.42	119,05	15.083,33	357,57	60	22	4
36,578.29	148,81	18.854,17	357,57	60	34	5
45,988.15	178,57	22.625,00	357,57	60	47	6
55,398.02	208,33	26.395,83	357,57	60	59	7
64,807.88	238,10	30.166,67	357,57	60	72	8
27,052.68	119,05	15.083,33	357,57	70	19	4
35,521.17	148,81	18.854,17	357,57	70	29	5
43,989.65	178,57	22.625,00	357,57	70	40	6
52,458.14	208,33	26.395,83	357,57	70	51	7
60,926.62	238,10	30.166,67	357,57	70	62	8
27,342.73	119,05	15.083,33	357,57	80	16	4
35,105.18	148,81	18.854,17	357,57	80	26	5
42,867.63	178,57	22.625,00	357,57	80	35	6
50,630.08	208,33	26.395,83	357,57	80	45	7
58,392.53	238,10	30.166,67	357,57	80	54	8
30,531.84	119,05	15.083,33	357,57	120	11	4
36,646.87	148,81	18.854,17	357,57	120	17	5
42,761.91	178,57	22.625,00	357,57	120	23	6
48,876.95	208,33	26.395,83	357,57	120	30	7
54,991.98	238,10	30.166,67	357,57	120	36	8
35,141.19	119,05	15.083,33	357,57	160	8	4
40,432.52	148,81	18.854,17	357,57	160	13	5
45,723.85	178,57	22.625,00	357,57	160	18	6
51,015.18	208,33	26.395,83	357,57	160	22	7
56,306.51	238,10	30.166,67	357,57	160	27	8

Modelo Matemático para Otimização do Custo de um Sistema Híbrido Eólico-Solar: Aplicação no Bombeamento de Petróleo

APÊNDICE AI – Custo estimado para motor elétrico de 5 HP, de aerogerador de 7 m de diâmetro e velocidade média do vento de 6 m/s para 1 dia de autonomia.

\hat{CT} (US\$)	CNA (Ah)	DDTE (Wh)	P_a (W)	PM (W)	NM (Unid)	tf (hora)
8,494.46	119,05	15.083,33	1.206,79	0	0	4
11,314.67	148,81	18.854,17	1.206,79	0	0	5
14,134.88	178,57	22.625,00	1.206,79	0	0	6
16,955.09	208,33	26.395,83	1.206,79	0	0	7
30,923.23	238,10	30.166,67	1.206,79	60	4	8
8,494.46	119,05	15.083,33	1.206,79	0	0	4
11,314.67	148,81	18.854,17	1.206,79	0	0	5
14,134.88	178,57	22.625,00	1.206,79	0	0	6
16,955.09	208,33	26.395,83	1.206,79	0	0	7
32,130.13	238,10	30.166,67	1.206,79	70	3	8
8,494.46	119,05	15.083,33	1.206,79	0	0	4
11,314.67	148,81	18.854,17	1.206,79	0	0	5
14,134.88	178,57	22.625,00	1.206,79	0	0	6
16,955.09	208,33	26.395,83	1.206,79	0	0	7
33,412.15	238,10	30.166,67	1.206,79	80	3	8
8,494.46	119,05	15.083,33	1.206,79	0	0	4
11,314.67	148,81	18.854,17	1.206,79	0	0	5
14,134.88	178,57	22.625,00	1.206,79	0	0	6
16,955.09	208,33	26.395,83	1.206,79	0	0	7
38,915.87	238,10	30.166,67	1.206,79	120	2	8
8,494.46	119,05	15.083,33	1.206,79	0	0	4
11,314.67	148,81	18.854,17	1.206,79	0	0	5
14,134.88	178,57	22.625,00	1.206,79	0	0	6
16,955.09	208,33	26.395,83	1.206,79	0	0	7
44,682.52	238,10	30.166,67	1.206,79	160	2	8

Observação: Sistema unicamente eólico.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)