

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**OTIMIZAÇÃO DE UM SISTEMA INTEGRADO DE GERAÇÃO DE ENERGIA
ALTERNATIVA E PRODUÇÃO DE BIODIESEL**

Gustavo Penhalves Anzai N° USP 4951610

São Paulo
2009

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**OTIMIZAÇÃO DE UM SISTEMA INTEGRADO DE GERAÇÃO DE ENERGIA
ALTERNATIVA E PRODUÇÃO DE BIODIESEL**

Relatório parcial apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
Obtenção do título de graduação em Engenharia

Gustavo Penhalves Anzai

Orientador: Prof. Dr. Demetrio Cornilios Zachariadis

São Paulo
2009

RESUMO

A preocupação mundial com a atual conjuntura energética, a preocupação com políticas ambientais e o quadro energético brasileiro em relação oferta e custo são as motivações desse trabalho que visa analisar a viabilidade econômica um sistema integrado de geração de energia alternativa, energia eólica, energia solar (células fotovoltaicas e aquecedores solares de água), geradores estacionários e produção de biodiesel. O objetivo é modelar um sistema capaz de suprir a demanda energética de uma residência e produzir biodiesel pelo processo de transesterificação por batelada em momentos de baixa demanda. O foco da aplicação é em pequenas propriedades, no entanto, a mesma metodologia pode ser usada para diferentes aplicações

A melhor configuração será encontrada a partir de um programa desenvolvido em Visual Basic for Applications para o programa Microsoft Excel, onde as tabelas com os dados e parâmetros de entrada são fornecidos pelo usuário. Entre os critérios de escolha estão: aproveitamento energético, custo e custo-benefício.

ABSTRACT

The global concern about the current energy situation, concern about environmental policies and framework for the Brazilian energy supply and cost are the motivations of this work which aim to analyze the economic feasibility of an integrated system for alternative energy generation, wind power, solar cells (photovoltaic and solar water heaters), stationary generators and production of biodiesel. The target is to model a system capable of supply the energy needs of a residence and to produce biodiesel by batches transesterification process during low demand period. The application focus is on small property; however, the same methodology can be used for different applications.

The best configuration is found through a program developed in Visual Basic for Applications to the Microsoft Excel, where tables with data and input parameters are provided by user. Among the choice discernment are: best energy use, cost and cost-advantage.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	1
1.2 Sobre o trabalho	1
2 CENÁRIO ENERGÉTICO BRASILEIRO	3
2.1 Custos da energia elétrica convencional.	8
3. ENERGIA EÓLICA.....	9
3.1 O Vento	9
3.2. A Utilização do Vento.....	10
3.3. Princípio de Funcionamento	13
3.4 O Sistema Eólico.....	19
3.4.1 Rotores de Eixo Horizontal.....	20
3.4.2 Rotores de Eixo Vertical.....	21
3.5 Equipamentos.....	22
3.6 Impactos sócio-ambientais.....	23
4 ENERGIA SOLAR - AQUECIMENTO SOLAR	24
4.1 Projeto e operação	25
4.2 Equipamentos.....	26
4.2.1 Coletor solar.....	26
4.2.2 Reservatórios ou Boilers	27
4.3 Impactos sócio-ambientais.....	27
5 ENERGIA SOLAR – CÉLULAS FOTOVOLTAICAS	28
5.1 Curvas de corrente e potência por voltagem	29
5.2 Dimensionamento	30
5.2.1 Intensidade Solar.....	30
5.2.2 Ângulo de incidência dos raios solares	31
5.2.3 Efeito de temperatura	32
5.2.4 Sistema de rastreamento solar.....	33
5.3 Equipamentos	34
5.4 Impactos sócio-ambientais.....	35
6 BATERIAS	36
6.1 Capacidade	36
6.2 Rendimento	37
6.4 Influências da Temperatura.....	37
6.5 Dimensionamento	37
6.6 Impactos sócio-ambientais.....	38
7 INVERSORES	39
7.1 Introdução	39
7.2 Inversores Síncronos	39
7.3 Inversores Multifunção	39
7.4 Inversores Isolados.....	39
8 BIODIESEL	40
8.1 Introdução	40
8.2 Processo	42

8.3 Equipamentos	45
8.4 Impactos sócio-ambientais	47
9 GERADORES ESTACIONÁRIOS	48
9.1 Introdução	48
9.2 Motor diesel	48
9.3 Princípio de funcionamento	49
9.4 Alternadores	50
9.5 Potência mecânica e elétrica	54
9.6 Equipamentos	55
9.7 Impactos sócio-ambientais	56
10 PROGRAMA DE AVALIAÇÃO DA MELHOR ALTERNATIVA	57
10.1 Consumo Elétrico	57
10.2 Formulário Principal	60
10.2.1 Sistema Eólico	60
10.2.2 Sistema Solar	61
10.2.3 Biodiesel	63
10.2.4 Gerador Estacionário	64
10.2.5 Baterias	64
10.2.6 Rede elétrica convencional	65
10.2.7 Custo Total e Tempo de Retorno	66
10.3 Geradores Eólicos	66
10.4 Rugosidade	67
10.5 Placas Solares	67
10.6 Reservatórios	67
10.7 Fotovoltaica	68
10.8 Biodiesel	69
10.9 Biodiesel Matéria Prima	69
10.10 Rota Biodiesel	70
10.11 Gerador Estacionário	70
10.12 Baterias	70
11 RESULTADOS	71
11.1 Validação do programa	71
11.1.1 Situação 1	72
11.1.2 Situação 2	76
12 CONCLUSÕES	81
ANEXO A – Velocidades médias anuais do vento a 50 metros de altura	82
ANEXO B – Código de programação	87
13 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Preço do petróleo em dólar [1]	2
Figura 2 – Representação esquemática do Sistema Integrado nacional [2]	4
Figura 3 – Representação esquemática dos Sistemas Isolados [2]	6
Figura 4 – Participação dos tipos de centrais de geração de energia	7
Figura 5 – Participação das fontes renováveis e não renováveis	7
Figura 6 – Componentes da Conta de Luz	8
Figura 7 – Formação dos ventos devido ao deslocamento das massas de ar.	9
Figura 8 – Evolução mundial da capacidade instalada eólico-elétrica, em GW	11
Figura 9 – Potencia Eólico do Brasil. Velocidade dos ventos	12
Figura 10 – Iniciativas de geração de energia elétrica autônomas	13
Figura 11 – Distribuição dos geradores e perturbações	15
Figura 12 – Curva típica de potência de turbinas eólicas.....	17
Figura 13 – Apresentação das diversas partes constituintes de um sistema eólico.....	19
Figura 14 – Fluxograma de relação de um sistema eólico.	20
Figura 15 – Ilustração das pás de uma turbina eólica de grande porte.	21
Figura 16 – Curvas de Potência das turbinas eólicas FD12-20k-40	22
Figura 17 – Esquema de funcionamento de aquecedor solar	24
Figura 18 – Placa Fotovoltaica Funcionamento.....	28
Figura 19 – Curva I x V [Solar Energy Handbook]	29
Figura 20 – Influência da intensidade do Sol.....	30
Figura 21 – Eficiência da conversão fotoelétrica da célula.....	31
Figura 22 – Influência do ângulo de incidência do Sol.....	32
Figura 23 – Influência da temperatura	33
Figura 24 – Placa Fotovoltaica com rastreador solar de dois eixos	34
Figura 25 – Esquema do uso de biomassa para a geração de energia.....	41
Figura 26 – Regiões e matéria prima para biodiesel	42
Figura 27 – Rendimento para Ésteres Metílicos e Etilícos [20].....	43
Figura 28 – Entradas e saídas do processo.....	44
Figura 29 – Fluxograma do processo de fabricação de biodiesel	45
Figura 30 – Montagem parcial da planta piloto de produção de biodiesel.	46
Figura 31 – Motor Diesel CUMMINS modelo 6CT8.3 visto em corte	49
Figura 32 – Esquema de indução magnética.....	50
Figura 33 – Alternador de quatro pólos	51
Figura 34 – Alternador WEG com mancal duplo	52
Figura 35 – Alternador WEG com mancal único.....	52
Figura 36 – Rendimento de Alternadores	55
Figura 37 – Planilha Consumo Elétrico, tabela para aparelhos comuns.....	58
Figura 38 – Planilha Consumo Elétrico, tabela para aparelhos de consumo intermitente	58
Figura 39 – Planilha Consumo Elétrico, tabela para consumo de água e equipamentos de aquecimento.	59
Figura 40 – Curva de Carga	59
Figura 41 – Tabela Sistema Eólico	61
Figura 42 – Tabela Sistema Solar	63
Figura 43 – Tabela Biodiesel	64

Figura 44 – Tabela Gerador Estacionário	64
Figura 45 – Tabela Baterias	65
Figura 46 – Rede Elétrica Convencional	66
Figura 47 – Tabela Baterias	66
Figura 48 – Placas Fotovoltaicas.....	68
Figura 49 – Biodiesel Matéria Prima	69
Figura 50 – Rota Biodiesel.....	70
Figura 51 – Gerador Estacionário	70
Figura 52 – Gerador Estacionário	71
Figura 53 – Gerador Estacionário	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Iniciativas de geração de energia elétrica de origem eólica	11
Tabela 2 – Fator de Rugosidade.....	16
Tabela 3 – Modelos de turbinas eólicas	22
Tabela 4 – Reservatórios de Água	26
Tabela 5 – Reservatórios de Água	27
Tabela 8 – Matérias primas para produção de biodiesel	41
Tabela 9 – Rendimento e Separação de fases para Ésteres Metílicos e Etílicos.....	43
Tabela 10 – Usinas de biodiesel a batelada.....	47
Tabela 11 – Geradores à Diesel e Características Principais	55
Tabela 12 – Placas Solares.....	67
Tabela 13 – Reservatórios	68
Tabela 14 – Controladores	68
Tabela 15 – Equipamento para produção de Biodiesel por batelada	69

1 INTRODUÇÃO

1.1 Objetivos

O objetivo deste trabalho é estudar e avaliar o projeto de um sistema integrado de geração de energia contendo turbina eólica, gerador estacionário, aquecimento solar, células fotovoltaicas e um sistema de produção de biodiesel.

1.2 Sobre o trabalho

A preocupação mundial com a atual conjuntura energética, a preocupação com políticas ambientais e o quadro energético brasileiro em relação à oferta e custo são as motivações desse trabalho. Tais preocupações são observadas claramente por empresas, pesquisadores e governos com pesquisas, incentivos e desenvolvimento de tecnologias para diminuir o gasto energia e para o desenvolvimento de energias alternativas

O petróleo, fonte de energia não renovável mais utilizada no mundo, sofre uma extrema variação do seu preço e, como mostra a Figura 1, batendo o valor de 110,33 dólares o barril em 13 de Março de 2008 [1]. O Brasil e a Petrobrás têm anunciado a descoberta de novos reservatórios de petróleo na Bacia de Campos e na Bacia de Santos e a pesquisa e produção de petróleo extra-pesado e a partir do pré-sal, o que pode dar certa segurança em relação ao mercado internacional.

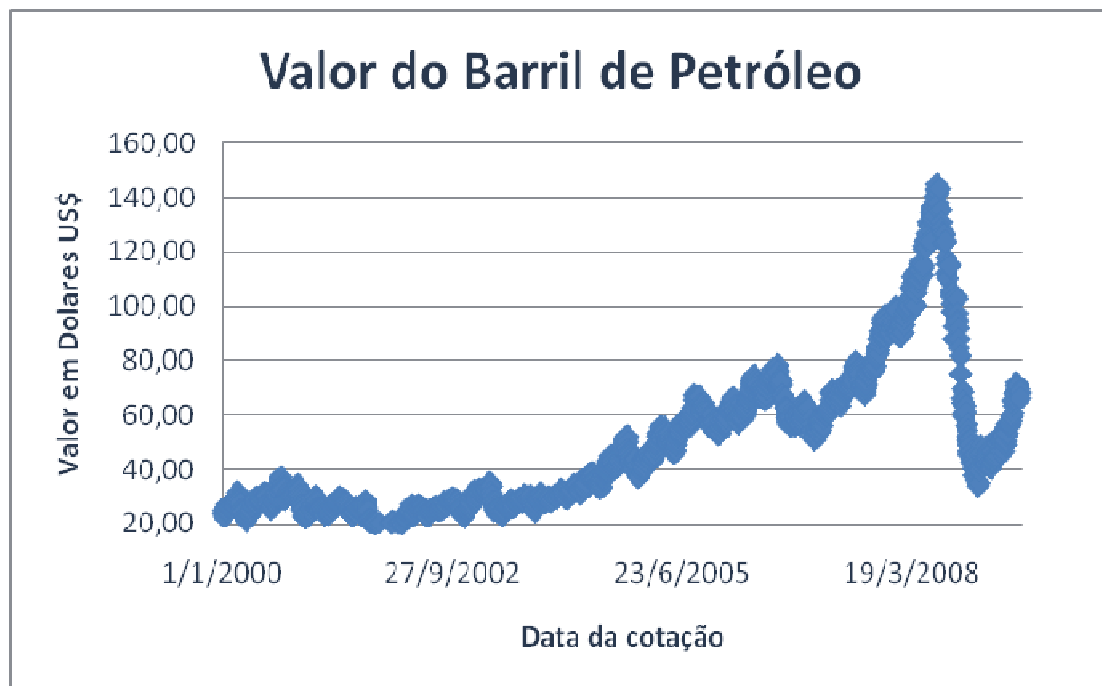


Figura 1 – Preço do petróleo em dólar [1]

O foco desse trabalho é uma pequena unidade com diferentes equipamentos de geração de energia a partir de fontes alternativas: turbina eólica, gerador estacionário, aquecimento solar, células fotovoltaicas e uma micro-usina de biodiesel por batelada

A partir dos dados dos equipamentos será possível encontrar a solução da menor alternativa segundo o critério escolhido, o gasto estimado e a comparação com o custo de transmissão de uma rede elétrica convencional.

2 CENÁRIO ENERGÉTICO BRASILEIRO

Apesar da grande extensão territorial do país e da abundância de recursos energéticos, há uma grande diversidade regional e uma forte concentração de pessoas e atividades econômicas em regiões com problemas de suprimento energético. Como revelado pelo último censo demográfico, mais de 80% da população brasileira vive na zona urbana. A grande maioria desse contingente está na periferia dos grandes centros urbanos, onde as condições de infra-estrutura são deficitárias.

Grande parte dos recursos energéticos do País se localiza em regiões pouco desenvolvidas, distantes dos grandes centros consumidores e sujeitos a restrições ambientais. Promover o desenvolvimento econômico-social dessas regiões, preservar a sua diversidade biológica e garantir o suprimento energético das regiões mais desenvolvidas são alguns dos desafios da sociedade brasileira. O conhecimento sistematizado da disponibilidade de recursos energéticos, das tecnologias e sistemas existentes para o seu aproveitamento e das necessidades energéticas setoriais e regionais do País é fundamental. [2]

O Sistema Elétrico Nacional é composto pelo Sistema Interligado Nacional (SIN) e pelos Sistemas Isolados, localizados principalmente no Norte do País.

O SIN é formado por empresas das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte. Com tamanho e características que permitem considerá-lo único em âmbito mundial, o sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil é um sistema hidrotérmico de grande porte, com forte predominância de usinas hidrelétricas e com múltiplos proprietários. A Figura 2 ilustra de forma simplificada a integração entre os sistemas de produção e transmissão para o suprimento do mercado consumidor.



Figura 2 – Representação esquemática do Sistema Integrado nacional [2]

A utilização dos recursos de geração e transmissão dos sistemas interligados permite reduzir os custos operativos, minimizar a produção térmica e reduzir o consumo de combustíveis, sempre que houver superávits hidrelétricos em outros pontos do sistema. Em períodos de condições hidrológicas desfavoráveis, as usinas térmicas contribuem para o atendimento ao mercado como um todo, e não apenas aos consumidores de sua empresa proprietária. Assim, a participação complementar das usinas térmicas no atendimento ao mercado consumidor também exige interconexão e integração entre os agentes.

Os Sistemas Isolados Brasileiros, predominantemente térmicos e majoritariamente localizados e dispersos na Região Norte, atendem a uma área de 45% do território e a cerca de 3% da população nacional, ou seja, aproximadamente 1,2 milhão de consumidores.

Os Sistemas Isolados estão localizados nas capitais da Região Norte (exceto Belém) e no interior dos estados dessa região. Estes últimos caracterizam-se basicamente pelo grande número de pequenas unidades geradoras a óleo diesel e pela grande dificuldade de logística de abastecimento.

Em outubro de 2003, havia 345 centrais elétricas em operação e distribuídas da seguinte forma:

Região Norte: 304;

Estado de Mato Grosso: 36;

Estados de Pernambuco, Bahia, Maranhão e Mato Grosso do Sul: 5.

Tomados em conjunto, esses sistemas cobrem quase 50% do território nacional e consomem em torno de 3% da energia elétrica utilizada no País. A distribuição espacial e a listagem das referidas centrais constam na Figura 3.

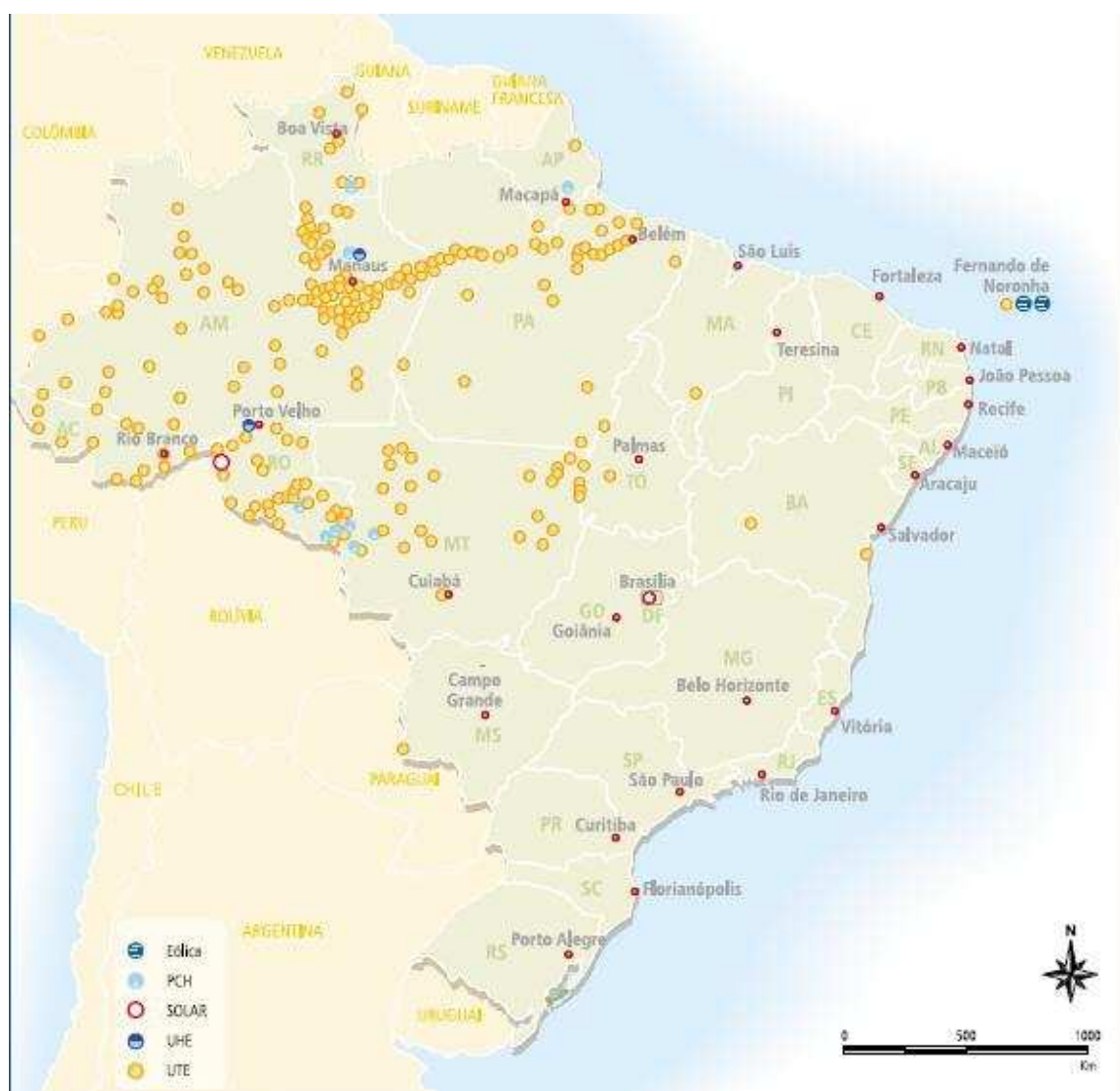


Figura 3 – Representação esquemática dos Sistemas Isolados [2]

Em Rio Branco a geração local é puramente térmica, com o suprimento complementado por meio da interligação, em 230 kV, ao sistema de Porto Velho. O sistema que atende Boa Vista e parte do interior do Estado de Roraima passou a ser suprido pela energia importada da Venezuela, por meio de uma interligação, em 230 kV, com o sistema da hidrelétrica de Guri, naquele país. A maioria dos sistemas do interior desses estados é suprida por unidades geradoras a diesel.

Participação dos Tipos de Centrais Geradoras Situação em Outubro de 2003

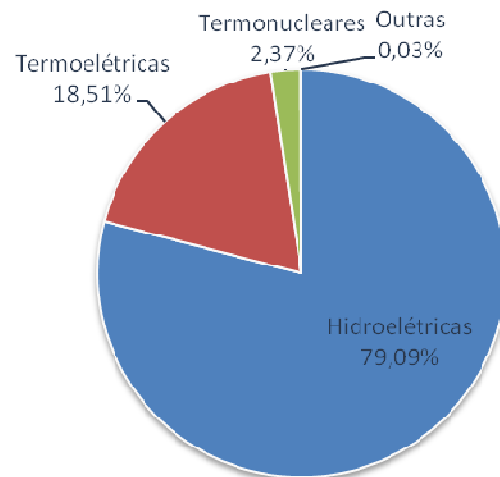


Figura 4 – Participação dos tipos de centrais de geração de energia

Participação das fontes renováveis e não renováveis - Situação em Outubro de 2003

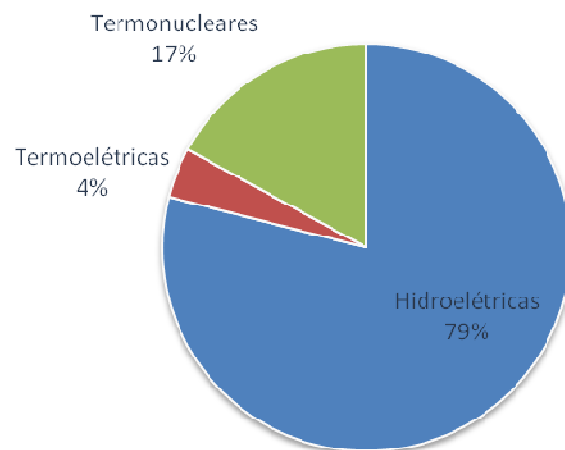


Figura 5 – Participação das fontes renováveis e não renováveis

2.1 Custos da energia elétrica convencional.

Segunda a ANEEL, a fórmula para se calcular o custo para o usuário final do consumo de energia elétrica é dada pela seguinte fórmula:

$$\text{ValorAoConsumidor} = \frac{\text{TarifaANEEL}}{1 - (\text{ICMS} + \text{PIS} + \text{COFINS})}$$

O Valor ao Consumidor é dado em R\$/kWh. Em alguns casos ainda é cobrado um valor chamado de Contribuição de Iluminação Pública (CIP).

A figura 6 mostra a distribuição média dos componentes da conta de luz no Brasil no ano de 2007.

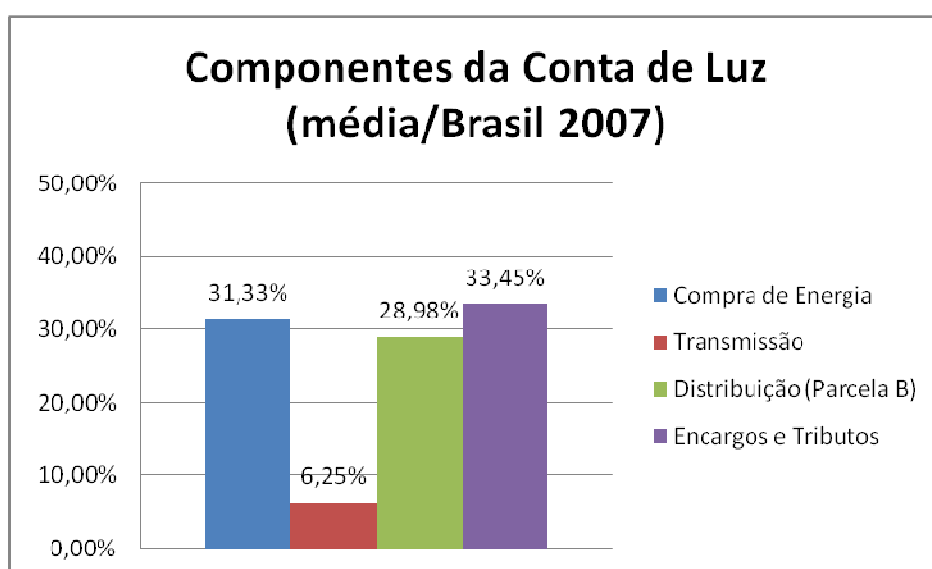


Figura 6 – Componentes da Conta de Luz

(Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil) Por dentro da conta de luz: informação de utilidade pública /Agência Nacional de Energia Elétrica. 4. Ed. - Brasília: ANEE. L, 2008).

3. ENERGIA EÓLICA

3.1 O Vento

O Sol, ao irradiar sua energia sobre a Terra, o faz de forma desigual sobre a superfície do globo, formando um gradiente de temperaturas latitudinal, provocando temperaturas mais baixas nos pólos e temperaturas maiores entre os trópicos. Como o ar quente possui uma densidade menor que o ar frio, este sobe até altitudes de aproximadamente 10 km em direção aos pólos. Pela rotação da terra, no entanto, uma força direcionada dos pólos para o Equador aparece: é chamada força de Coriolis [5]. O deslocamento dessas massas de ar sobre a superfície terrestre é o que chamamos de vento. Estima-se que por volta de 1 a 2% da energia solar é convertida em energia eólica [4].

Quando o ar aproxima-se da latitude de 30° em ambos os hemisférios, a força de Coriolis impede que o ar prossiga. Isso faz com que haja diversos ciclos atmosféricos, ao contrário do que ocorreria se não houvesse a rotação do globo. A Figura 7 mostra as direções predominantes das massas de ar pela atmosfera terrestre [4].

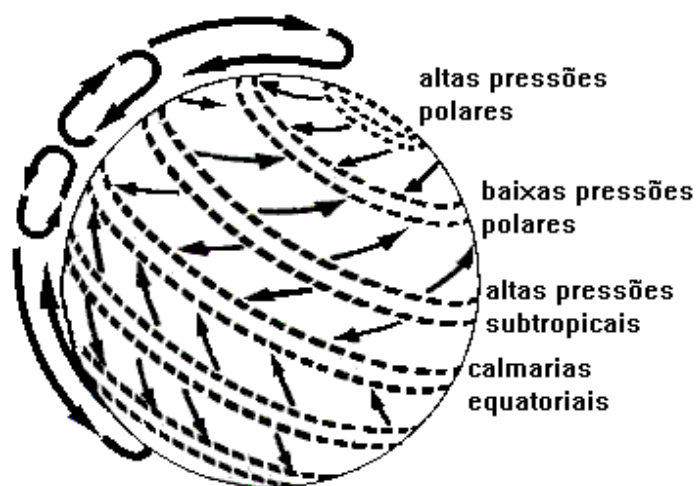


Figura 7 – Formação dos ventos devido ao deslocamento das massas de ar.

Alem das direções predominantes, as condições climáticas locais também influenciam o comportamento dos ventos. Dentre os ventos locais estão as brisas marinhas e os ventos de montanha [4], [5].

As brisas marítimas são ventos periódicos que se caracterizam por soprar do mar para o continente e vice-versa. Durante o dia, devido a maior capacidade da terra de refletir os raios solares, a temperatura do ar aumenta formando uma corrente de ar que sopra da terra para o mar. Já durante a noite esse fluxo se inverte já que a temperatura da terra cai mais rapidamente do que a da água.

Já os ventos de montanha funcionam da seguinte forma: durante o dia, o ar quente nas encostas da Montanha se eleva e o ar mais frio desce sobre o vale para renovar o ar que subiu. No período da noite, a direção em que sopram os ventos é novamente revertida e o ar frio das montanhas desce e se acumula nos vales.

3.2. A Utilização do Vento

Os primeiros registros de utilização do vento datam de 1700 a.C., na Babilônia, onde eram utilizados para irrigação. Chineses e persas também desenvolveram técnicas para o aproveitamento dos ventos [2]. Já a utilização da energia eólica para conversão em energia elétrica se deu na Dinamarca, no final do século XIX, por Pour La Cour [3].

Em alguns países, a energia elétrica gerada a partir do vento representa significativa parcela da demanda. Em Setembro de 2007, na Dinamarca a geração eólica representava 23% da produção de energia, 6% na Alemanha e cerca de 8% em Portugal e na Espanha. Globalmente, a geração através de energia eólica mais que quadruplicou entre 1999 e 2005.

Em 2005 a capacidade mundial de geração de energia elétrica através da energia eólica era de aproximadamente 59 Gigawatts, - o suficiente para abastecer as necessidades básicas de um país como o Brasil - embora isso represente menos de 1% do uso mundial de energia.

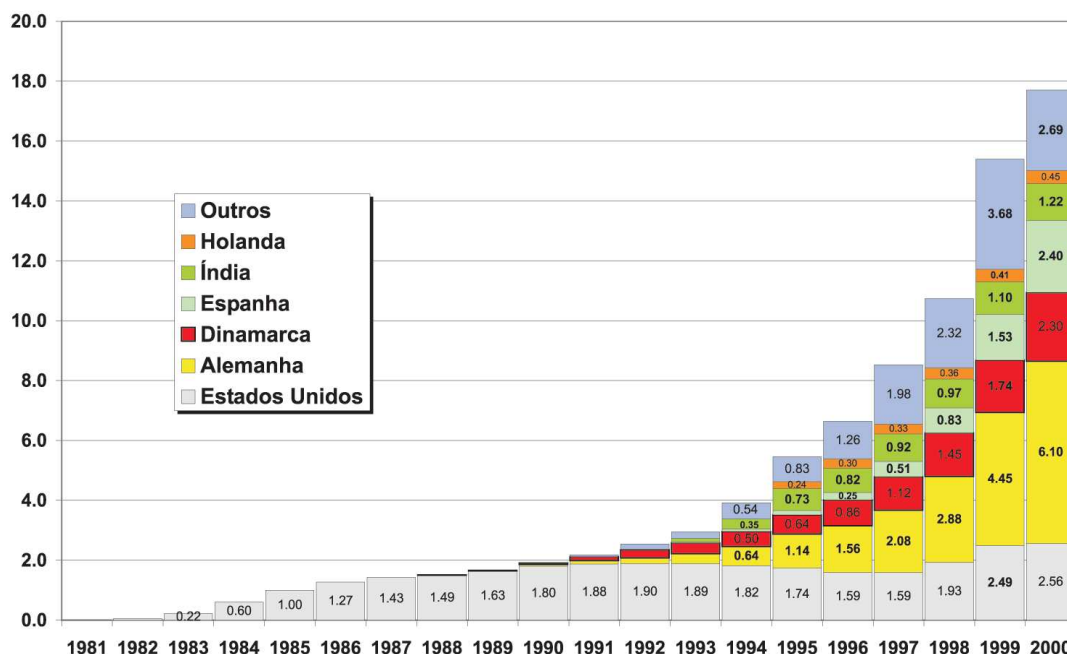
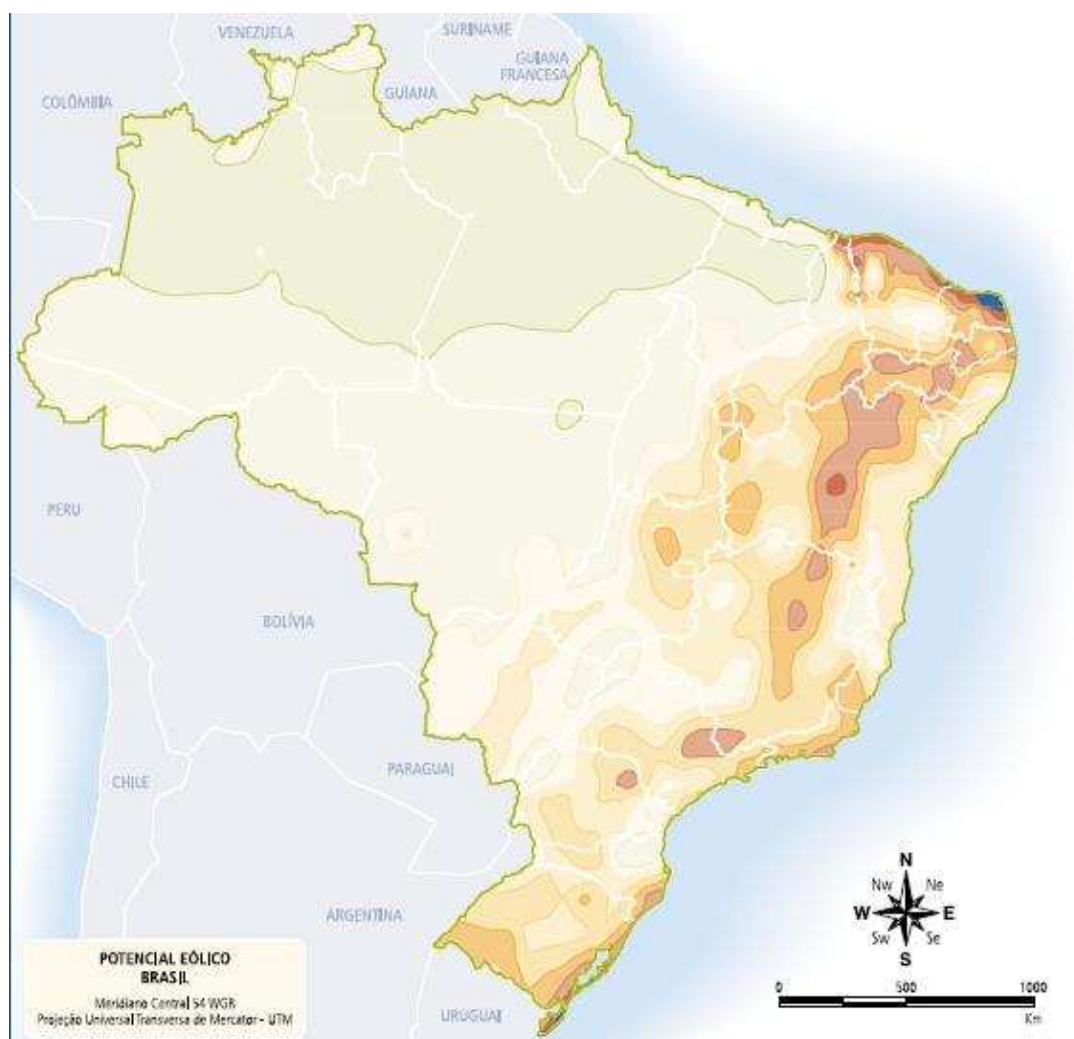


Figura 8 – Evolução mundial da capacidade instalada eólico-elétrica, em GW

Embora ainda haja divergências, hoje a maioria dos estudos indica que o aproveitamento da energia eólica pode ultrapassar potências de 60.000 MW. Essas divergências decorrem principalmente da falta de informações (dados de superfície) e das diferentes metodologias empregadas. De qualquer forma, os diversos levantamentos e estudos realizados e em andamento (locais, regionais e nacionais) têm dado suporte e motivado a exploração comercial da energia eólica no País.

Tabela 1 – Iniciativas de geração de energia elétrica de origem eólica

Nome da Usina	Potência (kW)	Município - UF	Destino da Energia	Proprietário
Eólica	75	Fernando de Noronha - PE	SP	Companhia Energética de Pernambuco
Eólica de Bom Jardim	600	Bom Jardim da Serra - SC	PIE	Parque Eólico de Santa Catarina Ltda.
Eólica de Fernando de Noronha	225	Fernando de Noronha - PE	PIE	Centro Brasileiro de Energia Eólica - FADE/UFPE
Eólica de Prainha	10.000	Aquiraz - CE	PIE	Wobben Wind Power Indústria e Comércio Ltda.
Eólica de Taíba	5.000	São Gonçalo do Amarante - CE	PIE	Wobben Wind Power Indústria e Comércio Ltda.
Eólica Olinda	225	Olinda - PE	PIE	Centro Brasileiro de Energia Eólica - FADE/UFPE
Eólica-Eletrica Experimental do Morro do Camelinho	1.000	Gouveia - MG	SP	Companhia Energética de Minas Gerais
Eólico - Eletrica de Palmas	2.500	Palmas - PR	PIE	Centrais Eólicas do Paraná Ltda.
Mucuripe	2.400	Fortaleza - CE	PIE	Wobben Wind Power Indústria e Comércio Ltda.



**Velocidade média do vento (m/s)
50 m acima do nível da superfície**

		Mata	Campo Aberto	Zona Costeira	Morro	Montanha
Classes de energia	4	 > 6,0	> 7,0	> 8,0	> 9,0	> 11,0
	3	 4,5 - 6,0	6,0 - 7,0	6,0 - 7,0	7,5 - 9,0	8,5 - 11,0
	2	 3,0 - 4,5	4,5 - 6,0	4,5 - 6,0	6,0 - 7,5	7,0 - 8,5
	1	 < 3,0	< 4,5	< 4,5	< 6,0	< 7,0

Figura 9 – Potencia Eólico do Brasil. Velocidade dos ventos



Figura 10 – Iniciativas de geração de energia elétrica autônomas

3.3. Princípio de Funcionamento

O princípio de funcionamento de um gerador eólico consiste na transformação da energia cinética proveniente do vento que move as asas ou hélices, por conseguinte o eixo da turbina que é transformando em energia elétrica num gerador.

A potência total disponível de uma massa de ar é proporcional a:

- À área “varrida pelas pás da turbina;
- A densidade do ar local;
- À velocidade ao cubo;

De forma que pode ser calculada considerando uma velocidade constante V , passando por uma área A , como sendo:

$$P_d = \frac{\rho \cdot A \cdot V^3}{2} \quad (1)$$

Sendo ρ a densidade do ar local, ao nível do mar, em uma temperatura de 0°C , a densidade do ar é de $\rho = 1,2929 \text{ kg/m}^3$, a densidade é, portanto, dependente da altitude e da temperatura do local.

Uma turbina eólica capta uma parte da energia cinética do vento que passa através da área varrida pelo rotor e a transforma em energia elétrica. Adicionando a equação 1 os fatores relativos à forma e rendimento da turbina eólica temos:

$$P_d = \frac{\rho \cdot A \cdot V^3 \cdot C_p \cdot \eta}{2} \quad (2)$$

Onde:

C_p = Coeficiente aerodinâmico de potência do rotor.

η = Eficiência do conjunto gerador/transmissão.

$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$, sendo D o diâmetro do rotor.

A absorção de energia cinética reduz a velocidade do vento à jusante do rotor; gradualmente, essa velocidade recupera-se ao misturar-se com as massas de ar predominantes do escoamento livre. Das forças de sustentação aerodinâmica nas pás do rotor resulta uma esteira helicoidal de vórtices, a qual também gradualmente dissipa-se.

Após alguma distância a jusante da turbina, o escoamento praticamente recupera as condições de velocidade originais e turbinas adicionais podem ser instaladas, minimizando as perdas de desempenho causadas pela interferência da turbina anterior. Na prática, essa distância varia com a velocidade do vento, as condições de operação da turbina, a rugosidade de terreno e a condição de estabilidade térmica vertical da atmosfera. De modo geral, uma distância considerada segura para a instalação de novas turbinas é da ordem de 10 vezes o diâmetro D , se instalada a jusante, e 5 vezes D , se instalada ao lado, em relação ao vento predominante.

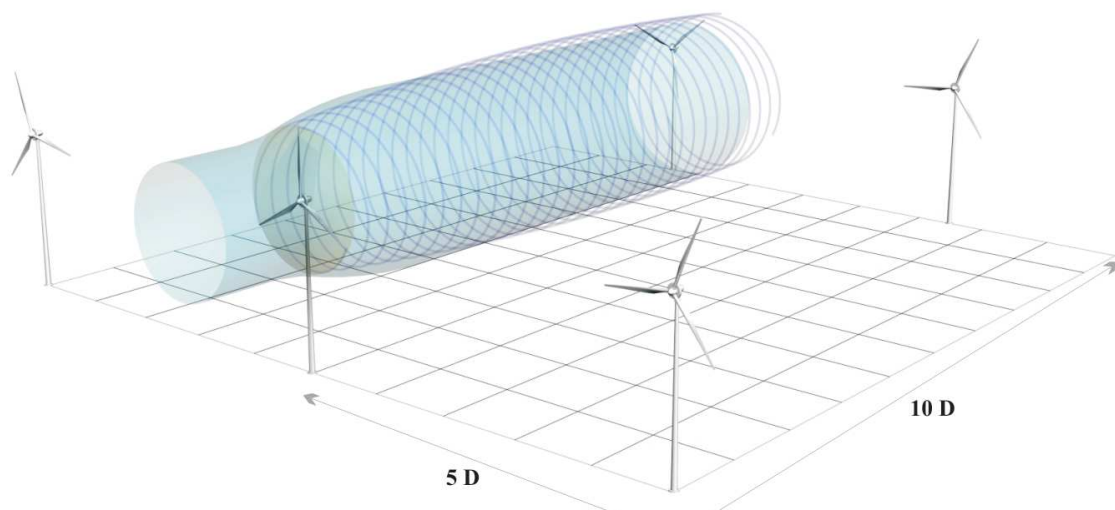


Figura 11 – Distribuição dos geradores e perturbações

A velocidade do vento, por sua vez, varia conforme a distância em relação ao solo, caracterizando um problema de camada limite.

A partir da medição da velocidade do vento a uma determinada altura, é possível estimar a velocidade para outras alturas, a partir da relação:

$$v(h) = v_{ref} \cdot \left(\frac{h}{h_{ref}} \right)^n \quad (3)$$

onde:

n : fator de rugosidade do terreno.

Valores aproximados médios para o fator de rugosidade do terreno são mostrados na tabela a seguir:

Tabela 2 – Fator de Rugosidade

Tipo de Terreno	Fator de rugosidade
Terreno sem vegetação	0,1
Terreno gamado	0,12
Terreno cultivado	0,19
Terreno com poucas árvores	0,23
Terreno com muitas árvores	0,26
Florestas	0,28
Zonas urbanas sem edificações altas	0,32

Segundo Betz [4], apenas parte da energia disponível pode ser aproveitada. A condição de máximo aproveitamento de energia ocorre quando a velocidade do vento após passar pelas pás é um terço da velocidade não perturbada, ou seja, antes de passar pelo rotor. Nestas condições, a eficiência teórica é dada pelo fator 0,593, ou seja, 59,3% da energia contida num fluxo de ar pode ser teoricamente extraída por uma turbina eólica. Na prática, fatores como rendimento aerodinâmico das pás e perdas relacionadas a outros componentes, como transmissão e gerador, reduz ainda mais este valor, fazendo com que chegue a 0,4 ou menos.

Como a potência gerada é proporcional a terceira potência da velocidade, é de vital importância conhecer como o vento varia. De acordo com a distribuição estatística de Weibull, por exemplo, no segundo semestre, a uma altura de 40 metros, na costa do Ceará. Observa-se que por mais de 90% do tempo a velocidade do vento está entre 7 e 13 m/s, que deve corresponder à máxima eficiência aerodinâmica da turbina eólica instalada.

Outra característica importante do vento que se deve conhecer é a sua direção, de forma a tentar direcionar a turbina diretamente contra o vento.

Além de tudo, é necessário conhecer a curva de potência da turbina eólica escolhida em função da velocidade do vento, normalmente fornecida pelo fabricante. A figura 9 apresenta uma curva de potência típica de um gerador eólico, onde podemos destingir três características importantes.

Velocidade de entrada do vento: velocidade do vento a partir da qual a turbina eólica inicia a geração de energia elétrica

Velocidade nominal do vento: velocidade do vento a partir da qual a turbina eólica fornece a potência nominal. Velocidades superiores ativam o sistema automático de limitação de potência do gerador.

Velocidade de corte do vento: velocidade do vento a partir da qual a turbina eólica é retirada de operação via sistema automático de proteção por motivo de segurança

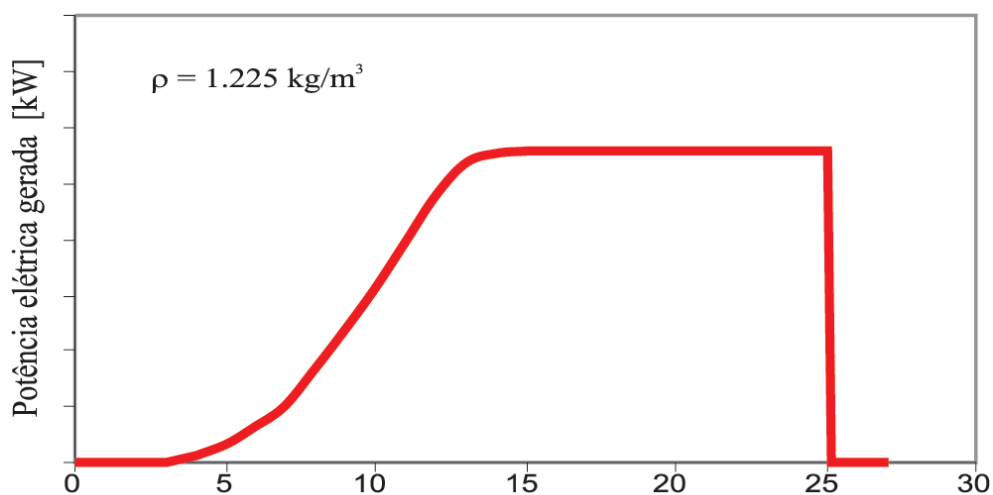


Figura 12 – Curva típica de potência de turbinas eólicas

A velocidade angular do rotor é inversamente proporcional ao diâmetro D. Usualmente, a rotação é otimizada no projeto, para minimizar a emissão de ruído aerodinâmico pelas pás.

Usualmente, a geração elétrica inicia-se com velocidades de vento da ordem de 2,5 - 3,0 m/s; abaixo desses valores, o conteúdo energético do vento não justifica aproveitamento. Velocidades superiores a aproximadamente de 12,0m/s a 15,0m/s ativam o sistema automático de limitação de potência da máquina, que pode ser por controle de ângulo de passo das pás ou por estol aerodinâmico, dependendo do modelo de turbina. Em ventos muito fortes ($v > 25\text{m/s}$ no exemplo), atua o sistema automático de proteção. Ventos muito fortes têm ocorrência rara e negligenciável em termos de aproveitamento e a turbulência associada é indesejável para a estrutura da máquina; nesse caso, a rotação das pás é reduzida (passo ou estol) e o sistema elétrico do gerador é desconectado a rede elétrica.

3.4 O Sistema Eólico

Os principais componentes de um sistema de transformação de energia eólica em elétrica são: rotor, transmissão, controle, conversor e sistema de armazenamento (baterias). A configuração desses equipamentos é feita da seguinte forma:

1	Cubo do rotor
2	Pás do rotor
3	Sistema hidráulico
4	Sistema de posicionamento da nacelle
5	Engrenagem de posicionamento
6	Caixa multiplicadora de rotação
7	Disco de freio
8	Acoplamento do gerador elétrico
9	Gerador elétrico
10	Sensor de vibração
11	Anemômetro
12	Sensor de direção
13	Nacelle, Parte inferior
14	Nacelle, parte superior
15	Rolamento do posicionamento
16	Disco de freio do posicionamento
17	Pastilhas de freio
18	Suporte do cabo de força
19	Torre

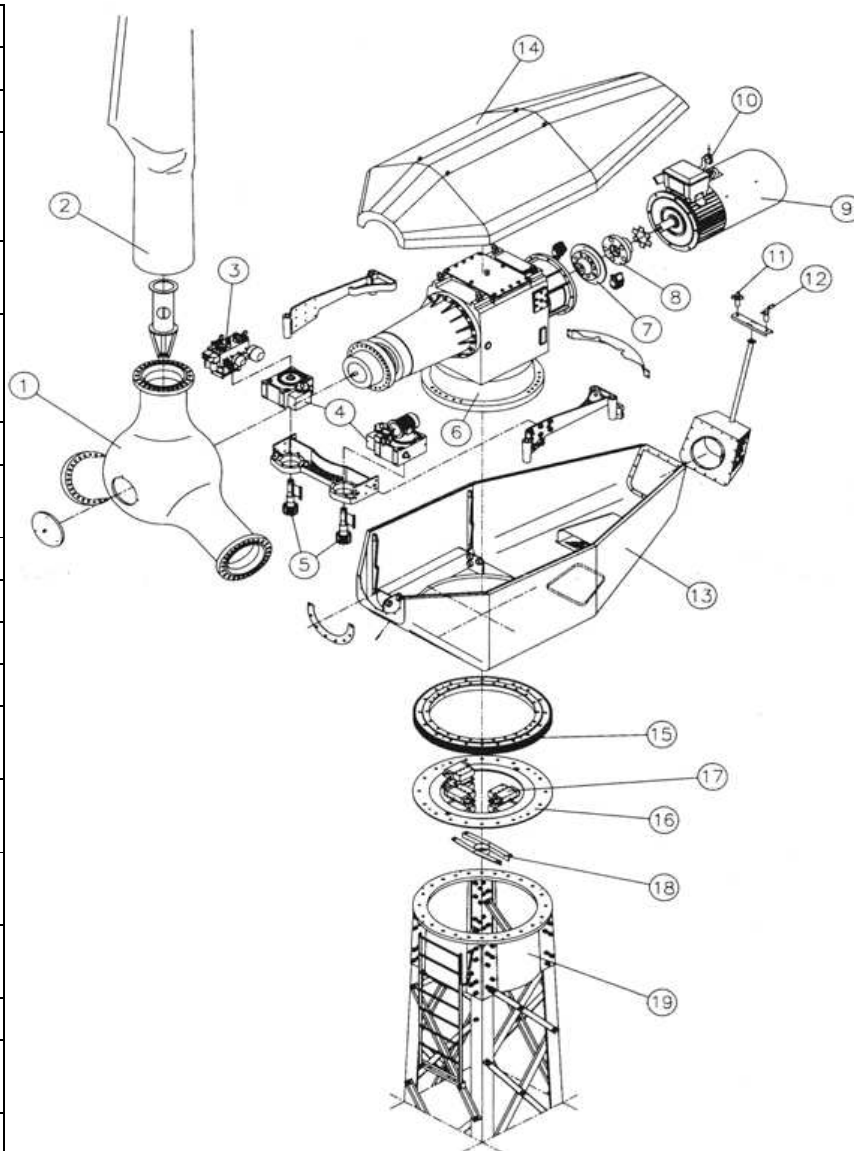


Figura 13 – Apresentação das diversas partes constituintes de um sistema eólico.

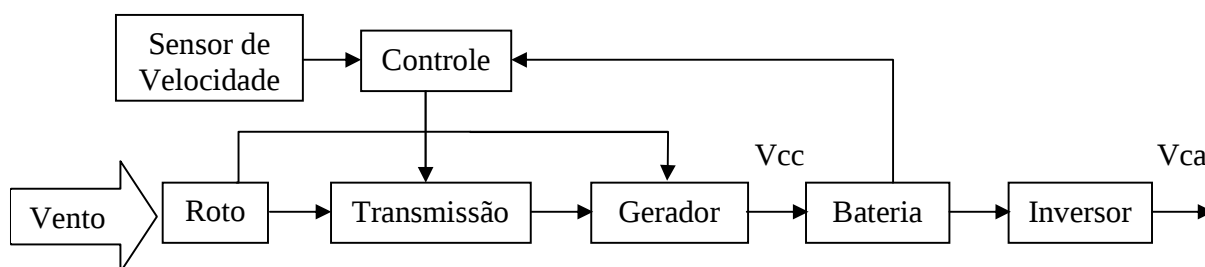


Figura 14 – Fluxograma de relação de um sistema eólico.

O rotor é o componente do sistema eólico responsável por captar a energia cinética dos ventos e transformá-la em energia mecânica de rotação. É o componente mais característico de um sistema eólico. Por este motivo, a configuração do rotor influenciará diretamente no rendimento global do sistema.

Os rotores eólicos podem ser classificados segundo vários critérios e o mais importante é aquele que utiliza a orientação do eixo como fator de classificação. Assim, têm-se os rotores de eixo horizontal e os rotores de eixo vertical.

3.4.1 Rotores de Eixo Horizontal

Os rotores de eixo horizontal são os mais comuns. Grande parte da experiência mundial está voltada para a sua utilização. São movidos por forças aerodinâmicas chamadas de forças de sustentação (lift) e forças de arrasto (drag). Um corpo que obstrui o movimento do vento sofre a ação de forças que atuam perpendicularmente ao escoamento (forças de sustentação) e de forças que atuam na direção do escoamento (forças de arrasto). Ambas são proporcionais ao quadrado da velocidade relativa do vento. Adicionalmente, as forças de sustentação dependem da geometria do corpo e do ângulo de ataque (formado entre a velocidade relativa do vento e o eixo do corpo).

Os rotores que giram predominantemente sob o efeito de forças de sustentação permitem liberar muito mais potência do que aqueles que giram sob efeito de forças de arrasto, para uma mesma velocidade de vento.

Os rotores de eixo horizontal ao longo do vento são predominantemente movidos por forças de sustentação e devem possuir mecanismos capazes de permitir que o disco varrido pelas pás esteja sempre em posição perpendicular ao vento.

Tais rotores podem ser constituídos de uma pá e contrapeso, duas hélices, três hélices ou múltiplas hélices (multi fans). Construtivamente, as pás podem ter as mais variadas formas e empregar os mais variados materiais. Em geral, utilizam-se pás rígidas de madeira, alumínio ou fibra de vidro reforçada.

Quanto à posição do rotor em relação à torre, o disco varrido pelas pás pode estar a jusante do vento, Down Wind, ou a montante do vento, Up Wind.

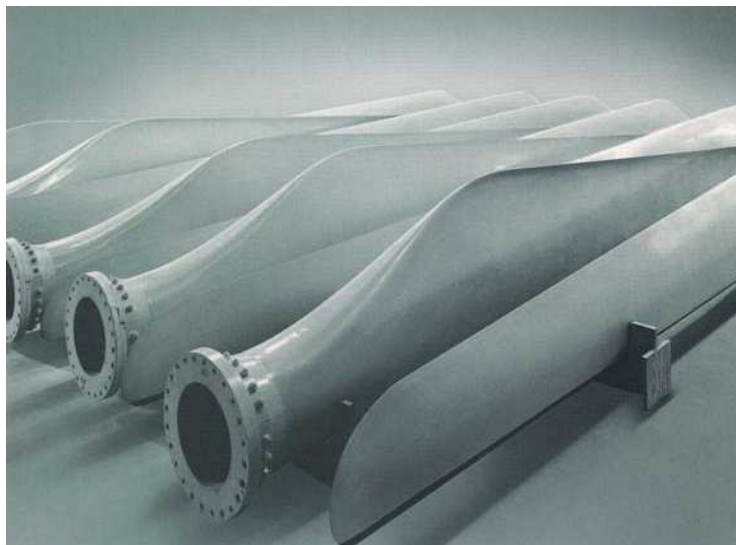


Figura 15 – Ilustração das pás de uma turbina eólica de grande porte.

3.4.2 Rotores de Eixo Vertical

Em geral, os rotores de eixo vertical têm a vantagem de não necessitarem de mecanismos de acompanhamento para variações da direção do vento, o que reduz a complexidade do projeto e os esforços devidos as forças de Coriolis.

Os rotores de eixo vertical também podem ser movidos por forças de sustentação (lift) e por forças de arrasto (drag). Os principais tipos de rotores de eixo vertical são Darrieus, Savonius e turbinas com torre de vórtices.

Os rotores do tipo Darrieus são movidos por forças de sustentação e constituem-se de lâminas curvas (duas ou três) com perfis aerodinâmicos, atados pelas duas pontas ao eixo vertical.

3.5 Equipamentos

Para este trabalho, somente as turbinas do tipo HAWT de pequeno porte encontradas no mercado serão consideradas. Segue na tabela 5 uma lista das turbinas pesquisadas com características e custos.

Tabela 3 – Modelos de turbinas eólicas

Modelo	Preço	Potência Máxima (W)	Potência Nominal (W)	Tensão de Saída (V)
FD2.7-1000-10	2700	1300	1000	48
FD3.6-2000-10	3600	2500	2000	120
FD6.4-5000-16	6400	6000	5000	240
FD8.0-10k-20	8000	12000	10000	240
FD12-20k-40	12000	998	20000	360

Determinando o diâmetro é possível encontrar o número de turbinas instaláveis seguindo as referencias e os estudos dos fornecedores. O critério estudado diz que a distância lateral entre turbinas deve ser de 5 vezes o diâmetro do rotor, e o espaçamento no sentido do vento de 10 vezes o diâmetro do rotor.

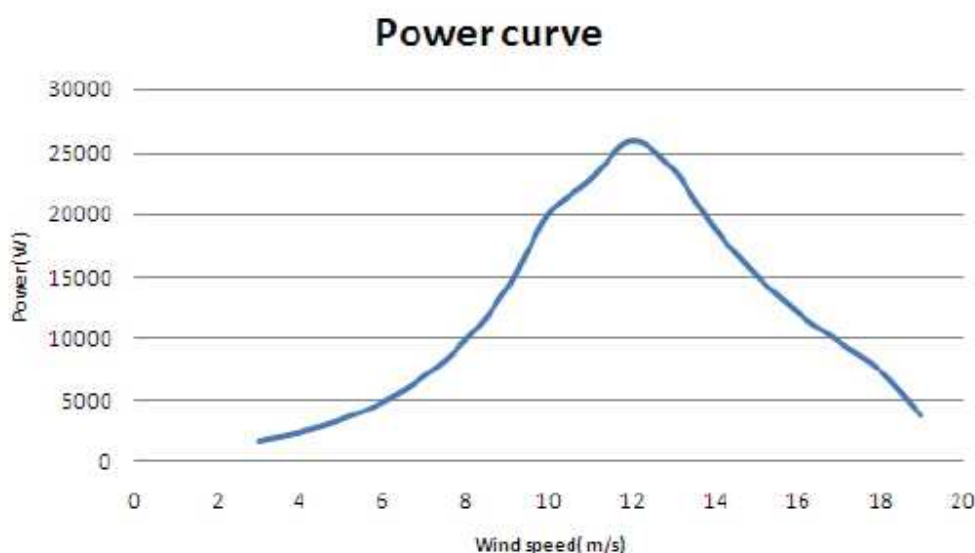


Figura 16 – Curvas de Potência das turbinas eólicas FD12-20k-40

3.6 Impactos sócio-ambientais

A geração de energia elétrica por meio de turbinas eólicas constitui uma alternativa para diversos níveis de demanda. As pequenas centrais podem suprir pequenas localidades distantes da rede, contribuindo para o processo de universalização do atendimento, enquanto as centrais de grande porte têm potencial para atender uma significativa parcela da demanda nacional contribuindo para a redução da emissão, pelas usinas térmicas, de poluentes atmosféricos; diminuindo a necessidade da construção de grandes reservatórios; e reduzindo o risco gerado pela sazonalidade hidrológica.

Entre os principais impactos socioambientais negativos das usinas eólicas destacam-se os sonoros e os visuais.

Os impactos sonoros são devidos ao ruído dos rotores e variam de acordo com as especificações dos equipamentos, múltiplas pás costumam ser menos eficientes e mais barulhentas que os hélices de alta velocidade. A fim de evitar transtornos à população vizinha, o nível de ruído das turbinas deve atender às normas e padrões estabelecidos pela legislação vigente.

Os impactos visuais são decorrentes do agrupamento de torres e aerogeradores, principalmente no caso de centrais eólicas com um número considerável de turbinas, também conhecidas como fazendas eólicas.

Os impactos variam muito de acordo com o local das instalações, o arranjo das torres e as especificações das turbinas. Apesar de efeitos negativos, como alterações na paisagem natural, esses impactos podem até atrair turistas, gerando renda, emprego, arrecadações e promovendo o desenvolvimento regional.

Outro impacto negativo das centrais eólicas é a possibilidade de interferências eletromagnéticas, que podem causar perturbações nos sistemas de comunicação e transmissão de dados, variando de acordo com o local de instalação da usina e suas especificações técnicas, particularmente o material utilizado na fabricação das pás.

Também a possível interferência nas rotas de aves deve ser devidamente considerada nos estudos e relatórios de impactos ambientais (EIA/RIMA).

4 ENERGIA SOLAR - AQUECIMENTO SOLAR

O aquecedor solar, como o próprio nome já diz, aquece a água por energia solar. Este sistema é formado basicamente por coletores solares (placas) e reservatório térmico.

As placas solares são as responsáveis pela coleta da energia solar que vem por meio de radiação e é convertida em calor ao entrar em contato com as placas. O calor que foi captado do sol é transferido para a água que circula em espirais que existem dentro das placas solares por meio de condução. Essa água (que está dentro dos espirais), quando fica quente, sofre outro processo: o da convecção. O processo da convecção é a propagação de calor por meio de deslocamento do mesmo. Quando um fluido está quente, ele tem tendência a subir (por ser mais leve) e quando está frio, ele tende a descer.

A economia de utilização de um aquecedor solar é de aproximadamente 40%, sem falar que eles não agredem o meio ambiente e tem alta durabilidade.

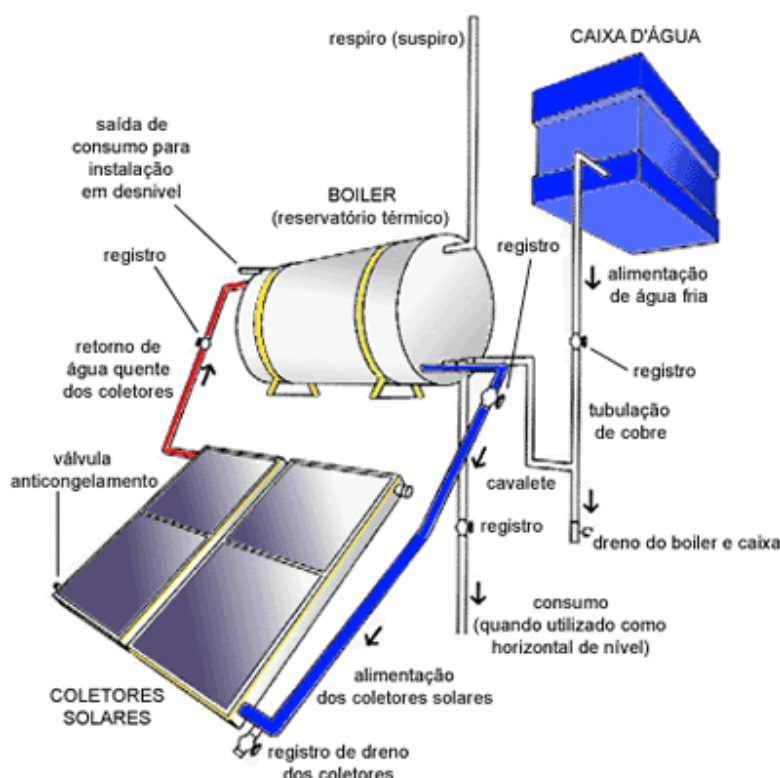


Figura 17 – Esquema de funcionamento de aquecedor solar

4.1 Projeto e operação

A quantidade de energia necessária para aquecer a água é dada por:

$$Q = V \cdot C \cdot (T - T_{amb})$$

$$C = \rho \cdot c$$

Onde Q é a energia necessária para se manter o volume V a uma temperatura T , acima da temperatura ambiente T_{amb} . ρ é a densidade da água e c o calor específico da água (4,18 kJ/(kg.°C))

É necessário considerar também as perdas térmicas devido às perdas de calor no tanque de armazenamento e no sistema de recirculação. A perda de calor no tanque é no encanamento é dada pela relação

$$Q = U \cdot A \cdot (T - T_{amb}) \cdot N, \text{ onde}$$

N : número de horas de uso por dia, usualmente 24 horas;

U :condutância térmica da isolação;

A : área da superfície dos componentes

Defini-se a energia útil do aquecedor solar como sendo:

$$E_{util} = I_{solar} \cdot A_{coletor} \cdot \eta_{coletor},$$

onde

I_{solar} : energia incidente do sol em kWh/m^2

$A_{coletor}$: área do coletor m^2

$\eta_{coletor}$: rendimento do coletor

Para calcular a vazão em massa de água que se pode aquecer com um coletor solar utilizamos a seguinte relação:

$$\dot{m} = \frac{E_{util}}{c_p \cdot \Delta T \cdot \Delta t}$$

c_p : calor específico da água $kJ/(kg.K)$

ΔT : variação da temperatura

Δt : tempo de incidência solar

Para dimensionar o volume do reservatório usa-se a seguinte relação

$$V_{reservatório} = V_{consumido} - V_{aquecido}$$

4.2 Equipamentos

A Soletrol, umas das principais fabricantes nacionais de placas solares para aquecimento de água, fabrica equipamentos para atender diferentes necessidades dos consumidores, sendo possível selecionar o melhor equipamento de acordo com o emprego desejado.

4.2.1 Coletor solar

Tabela 4 – Reservatórios de Água

Placas solares	Área (m2)	Preço (R\$)	Eficiência (%)
Soletrol Max Mini Vertical	1	450	0,517
Soletrol Max Cobre Vertical	1,45	620	0,542
Soletrol Max Alumínio Vertical	1,45	640	0,554
Soletrol Max Alumínio Horizontal/Vertical	1,58	730	0,597
Soletrol Max Alumínio Horizontal/Vertical	2	800	0,538
Soletrol Max Alumínio Vertical	2	800	0,597

4.2.2 Reservatórios ou Boilers

Tabela 5 – Reservatórios de Água

Reservatório ou Boiler	Capacidade (L)	Preço (R\$)
Térmico horizontal	200	1000
Térmico horizontal	300	1400
Térmico horizontal	400	1880
Térmico horizontal	500	230
Térmico horizontal	600	2760
Térmico horizontal alta pressão	800	3500
Térmico horizontal alta pressão	1000	4250

4.3 Impactos sócio-ambientais

Não há consideráveis impactos ambientais no uso de aquecedores solares. O impacto que possivelmente pode acontecer é no momento do descarte do equipamento.

Alguns equipamentos similares podem ser construídos a partir de garrafas PET e outros materiais isso em escala pode causar o aproveitamento de materiais recicláveis e desenvolvimento econômico, técnico e educacional para comunidades carentes.

5 ENERGIA SOLAR – CÉLULAS FOTOVOLTÁICAS

Células fotovoltaicas são dispositivos capazes de transformar a energia luminosa, proveniente do Sol ou de outra fonte de luz, em energia elétrica.

Atualmente, as células solares comerciais ainda apresentam uma baixa eficiência de conversão, da ordem de 16%. Existem células fotovoltaicas com eficiências de até 28%, fabricadas de arsenieto de gálio, mas o seu alto custo limita a produção dessas células solares para o uso da indústria espacial.

A primeira geração fotovoltaica consiste numa camada única e de grande superfície p-n díodo de junção, capaz de gerar energia elétrica utilizável a partir de fontes de luz com os comprimentos de onda da luz solar. Estas células são normalmente feitas utilizando placas de silício. A primeira geração de células constitui a tecnologia dominante na sua produção comercial, representando mais de 86% do mercado.

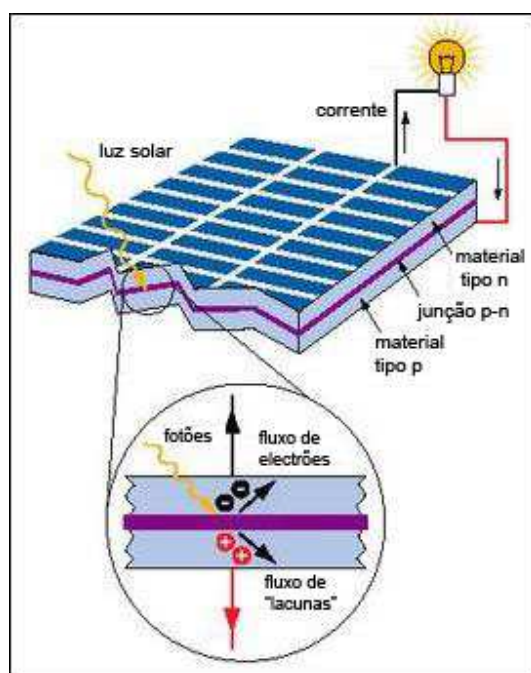


Figura 18 – Placa Fotovoltaica Funcionamento

Ao conjunto de células fotoelétricas chama-se Placa Fotovoltaica cujo uso hoje é bastante comum em lugares afastados da rede elétrica convencional. Existem placas de várias

potências e tensões diferentes para os mais diversos usos. Em residências rurais algumas empresas concessionárias de distribuição usam placas de 75 W de pico e 12 V para guardar energia em baterias de 100 Ah.

5.1 Curvas de corrente e potência por voltagem

A característica elétrica da célula fotovoltaica é geralmente representada pela curva de corrente por voltagem como mostrado na Figura 18. A esquerda do ponto da curva onde a voltagem é igual a zero é denominado corrente de curto circuito. Esta é a corrente que pode ser medida com os terminais curto-circuitados ($V=0$). O ponto mais a direita é chamado de voltagem de circuito aberto, é essa a voltagem que pode ser medida com os terminais abertos ($I=0$). Na região hachurada mais a direita a corrente cai rapidamente com um pequeno aumento da voltagem. Na área hachurada central a célula trabalha com voltagem constante. Em algum lugar entre as duas regiões sombreadas a curva tem um ponto de pico.

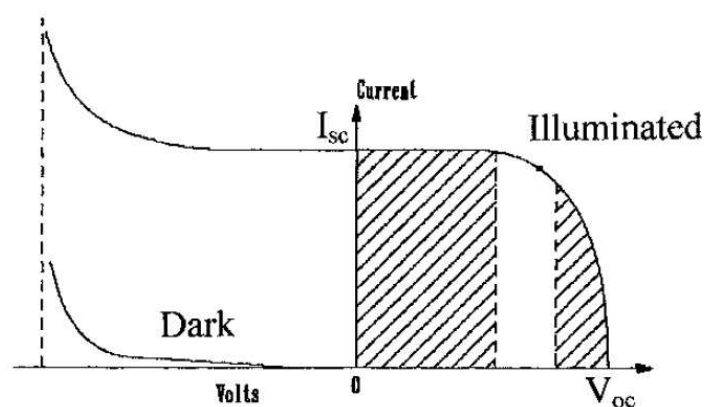


Figura 19 – Curva I x V [Solar Energy Handbook]

W/m^2 , significando que a eficiência de conversão é a mesma. A perda de energia em um dia nublado é menor somente devido à baixa energia solar incidente na célula.

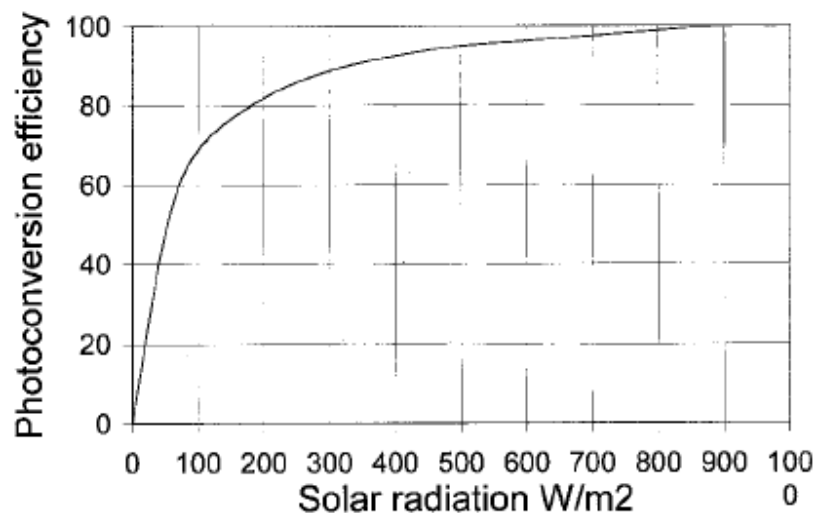


Figura 21 – Eficiência da conversão fotoelétrica da célula

5.2.2 Ângulo de incidência dos raios solares

A corrente de saída da célula é dada por $I = I_0 \cdot \cos \theta$, onde I_0 é a corrente de referência para incidência de radiação normal à célula, e θ é o ângulo da radiação medido a partir da normal. Utilizando a lei dos cossenos, para variação de ângulos de 0 a aproximadamente 50°. Para ângulos acima de 50°, a corrente na saída desvia significativamente do resultado obtido pela lei dos cossenos. Além disso, a célula não gera energia para ângulos superiores a 85°, embora a lei dos cossenos resulte em uma capacidade de 7,5% da capacidade máxima de geração. Esse efeito pode ser visto na Figura 21.

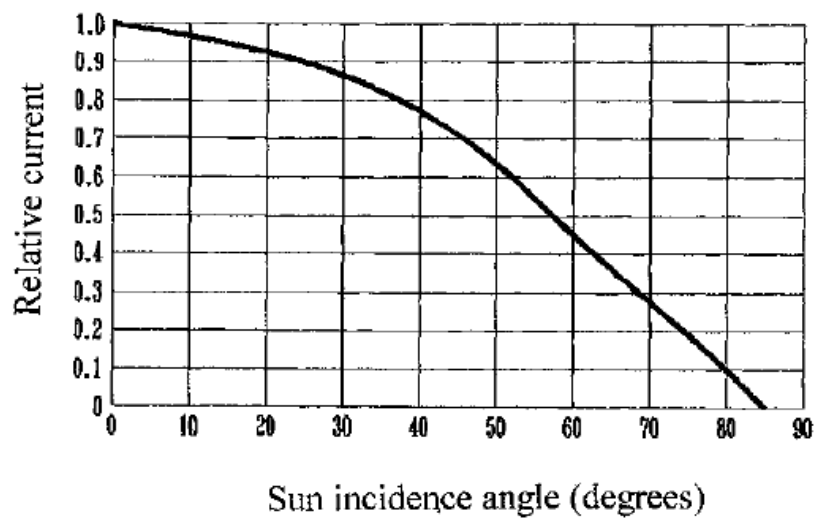


Figura 22 – Influência do ângulo de incidência do Sol

5.2.3 Efeito de temperatura

Nas células fotovoltaicas, a máxima potência disponível a baixas temperaturas é maior que potências a temperaturas maiores como mostra a Figura 22. Portanto, a fim de extrair a máxima potência em todas as temperaturas, os sistemas fotovoltaicos devem ser projetados de modo que o módulo da voltagem na saída possa aumentar para V_2 para atingir $P_{\max 2}$ a temperaturas mais baixas e possa diminuir para V_1 para atingir $P_{\max 1}$ a temperaturas maiores.

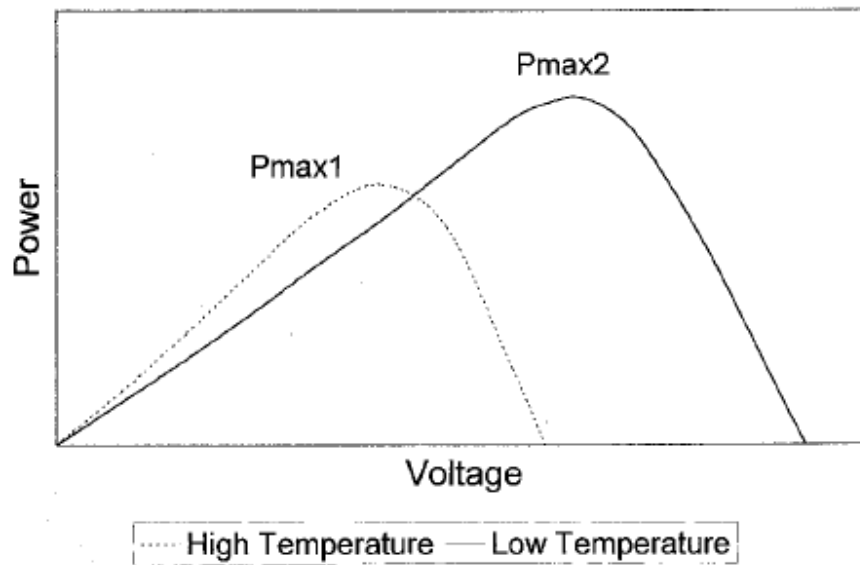


Figura 23 – Influência da temperatura

5.2.4 Sistema de rastreamento solar

É possível que mais energia seja coletada se o painel for instalado em um rastreador, com um atuador que segue o sol como um girassol. Existem dois tipos de rastreadores:

- Rastreador de um eixo, que segue o sol de leste para oeste;
- Rastreador de dois eixos, que segue o sol de leste para oeste e de norte a sul durante as estações do ano (Figura 23);

A implementação de um rastreador pode aumentar a potência em até 40% se comparado ao painel fixo. O rastreador de duplo eixo é construído com dois motores atuadores lineares que se dirigem ao sol com acurácia inferior a 1 grau.

Quando o sol é encoberto por uma nuvem escura, o rastreador pode apontar para o próximo objeto brilhante, que geralmente são os limites das nuvens. Quando a nuvem se move, o rastreador volta a apontar para o sol.

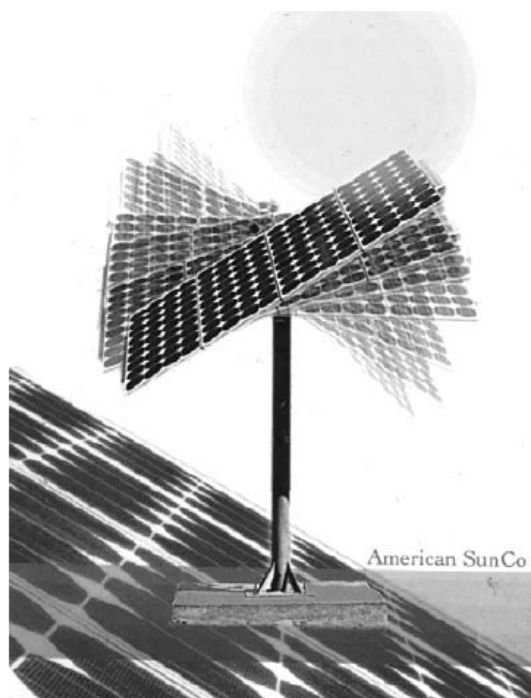


Figura 24 – Placa Fotovoltaica com rastreador solar de dois eixos

5.3 Equipamentos

Um sistema solar fotovoltaico deve ser composto pelos seguintes equipamentos

Módulo ou Painel Fotovoltaico: montado a partir de conjunto de células de silício, texturizadas, laminadas e tratadas com materiais específicos que aumentam sua absorção e vida útil. Geram tensões e correntes que são condicionadas às ligações em paralelo ou em série. A energia proveniente do painel é em corrente contínua (CC) e pode alimentar diretamente equipamentos que utilizam desta propriedade, carregando baterias simultaneamente.

O principal fornecedor no Brasil é a empresa japonesa Kyocera e seus painéis foram usados como base para esse trabalho. Cada um dos fabricantes produz placas fotovoltaicas com potências e dimensões diferentes dos outros fabricantes, isso porque os processos de fabricação são distintos. A seguir, os dados técnicos dos Painéis comercializados.

Tabela 6 – Placas Fotovoltaicas

Modelo	Marca	Preço	
KC40T	Kyocera	R\$	560,00
KC50T	Kyocera	R\$	730,00
KC65T	Kyocera	R\$	920,00
KC85T	Kyocera	R\$	1.140,00
KC130TM	Kyocera	R\$	1.560,00

Controladores de Carga: em geral a energia gerada durante o dia é armazenada em bateria. A garantia de segurança do sistema e durabilidade da bateria fica por conta do controlador de carga. Ele é utilizado para evitar a sobrecarga do painel solar sobre a bateria durante a recarga e a sobre-descarga na sua utilização.

Baterias: Para se obter o melhor retorno de um sistema solar é altamente recomendável a utilização de baterias que permitem a descarga profunda.

Inversores: Utilizado na conversão da energia em corrente contínua (DC) do sistema solar para corrente alternada (AC), permitindo a conexão de equipamentos convencionais que utilizam corrente alternada ao sistema solar.

5.4 Impactos sócio-ambientais

Da mesma forma que os aquecedores solares, não há consideráveis impactos ambientais no uso de aquecedores solares. O impacto que possivelmente pode acontecer é no momento do descarte do equipamento.

6 BATERIAS

As baterias são utilizadas para armazenar energia promovendo o equilíbrio entre demanda e a disponibilidade energética, no caso da energia eólica compensando os momentos com vento desfavorável.

Segundo os fabricantes, a vida útil de uma bateria pode variar de 5 a 10 anos. Elas podem ser classificadas de acordo com sua aplicação: ciclo raso ou ciclo profundo.

As baterias de ciclo raso são projetadas para suprir grande quantidade de carga sem perda do eletrólito, e não aceitam ser completamente descarregadas. O descarregamento de mais de 20% da capacidade provocará o encurtamento da vida útil.

As de ciclo profundo são projetadas para descargas repetidas em mais de 80% de sua capacidade.

O dimensionamento varia de acordo a capacidade projetada de armazenamento, razão de descarga e a temperatura mínima do local onde as baterias serão armazenadas.

Baterias de carga profunda possuem melhor rendimento, podendo trabalhar em até 90% de sua capacidade e a vida útil é maior que as convencionais. É recomendada a utilização de baterias com capacidade 3 vezes maior que a demandada. [22]

6.1 Capacidade

A capacidade de uma bateria é medida em Ampère-hora (Ah). 1 Ah é o equivalente ao funcionamento de 1A de corrente elétrica pelo período de uma hora.

A corrente nominal de uma bateria em regime normal é fornecida através de uma relação entre a capacidade e o tempo de descarga, sendo afetada por diversos fatores como: carga insuficiente, descargas prolongadas, curto-circuito interno, impurezas no eletrólito, temperaturas, entre outras.

6.2 Rendimento

Pode ser determinado através da relação entre energia cedida e recebida. Sabe-se que a energia de carga é sempre maior que a energia de descarga. Porém fatores como formação de gases no processo de carga pode piorar este rendimento.

Pode-se definir também a eficiência de descarga, a qual mostra a capacidade da bateria fornecer uma determinada corrente em um determinado intervalo de tempo sem que a tensão da bateria atinja um valor muito baixo. A eficiência de descarga depende da área de contato do eletrólito com as placas.

6.4 Influências da Temperatura

A temperatura da bateria, portanto do eletrólito, influi diretamente no comportamento da bateria. O aumento da temperatura acarreta na diminuição da viscosidade e conseqüentemente a velocidade de difusão do eletrólito através das placas, ou seja, o aumento da temperatura aumenta o rendimento das baterias.

A temperatura máxima do eletrólito é limitada em 45°C, e em temperaturas superiores, ocorre uma rápida deterioração da bateria.

6.5 Dimensionamento

O primeiro dado para o dimensionamento para o banco de baterias é dado pela potencia gerada pelos outros sistemas.

Potencia gerada pelo sistema eólico é dada por.

$$Potência(W) = \int Energia \cdot \partial t$$

Onde t é o tempo

Pela dificuldade da tomada de dados de forma contínua será estimada o valor de energia gerada a partir da relação:

$Potência(W) = \frac{Energia(Wh / mês)}{30dias \cdot 24horas} \cdot f$, onde f é um fator de segurança devido a picos e condições climáticas, aqui considerado 1,2.

É possível então dimensionar a bateria a partir da seguinte equação

$$I_{bateria} = \frac{Potencia \cdot T}{V_{bateria} \cdot N}, \text{ onde}$$

$I_{bateria}$: capacidade da bateria (Ah);

T : autonomia da bateria (h);

$V_{bateria}$: voltagem da bateria;

N : fator de profundidade de descarga

6.6 Impactos sócio-ambientais

Desde 1999, o País possui legislação específica que dispõe sobre pilhas e baterias que contêm mercúrio, chumbo e cádmio, substâncias altamente danosas ao meio ambiente (Resoluções Conama: nº 257, de 30/06/99; e nº 263, de 12/11/99). Esses metais são bioacumulativos, depositam-se no organismo, afetando suas funções orgânicas. Outras substâncias tóxicas presentes podem atingir e contaminar os aquíferos freáticos, comprometendo a qualidade desses meios e seu uso posterior como fontes de abastecimento de água e de produção de alimentos. Embora necessária e em vigor, a medida mostra-se insuficiente para solucionar, na prática, o problema do descarte inadequado das baterias veiculares.

Baterias exauridas não devem ser descartadas no lixo comum. Devem ser depositadas em lugares apropriados para o seu tratamento

7 INVERSORES

7.1 Introdução

O inversor tem a função de converter a baixa corrente contínua armazenada nas baterias em corrente alternada padronizada para utilização

Para dimensionar um inversor deve-se primeiro considerar a potência elétrica que o aparelho pode fornecer durante o seu funcionamento contínuo. Os inversores têm rendimento menor quando utilizados abaixo de certa percentagem de sua capacidade. Logo não é interessante o seu superdimensionamento. Em seguida, deve-se atentar para a potência de arranque. Alguns inversores podem fornecer mais que sua capacidade em um curto período de tempo. Este fator é importante quando se utiliza motores ou outras cargas (motores de indução ou lâmpadas de grande potência) que requerem, de 2 até 7 vezes mais potência na partida.

7.2 Inversores Síncronos

Utilizam a rede elétrica convencional como um sistema de armazenamento. Isto é, supondo um sistema eólico, quando está ventando, a fonte de energia é o aerogerador, sendo que o excesso pode ser vendido para a concessionária elétrica. Quando a demanda é maior do que a força do vento pode oferecer, a concessionária supre a diferença, assim trabalhando com um sistema de armazenamento.

7.3 Inversores Multifunção

Realiza as funções do inversor síncrono e isolado. Normalmente, é conectado a um banco de baterias, à rede elétrica convencional, e ao sistema de geração implantado. Quando as baterias estão carregadas, o inversor alimenta a instalação através delas e quando descarregadas, a energia elétrica da instalação é suprida pela rede elétrica convencional.

7.4 Inversores Isolados

O inversor isolado tem três formas básicas de sinal de saída: onda quadrada, onda quadrada modificada (ou senoidal modificada) e onda senoidal pura. O inversor síncrono só fornece a senoidal pura, exatamente como a rede elétrica convencional.

Esses inversores são diferentes quanto a custo e capacidade. O inversor de onda senoidal tem um custo superior, mas pode alimentar qualquer dispositivo ou carga de uma instalação.

8 BIODIESEL

8.1 Introdução

Conforme a especificação da American Society of Testing Materials (ASTM D5453), o biodiesel é definido como um mono-álquil ésteres de longa cadeia de ácidos graxos derivados de óleos vegetais ou gorduras animais. As matérias-primas vegetais são derivadas de óleos vegetais tais como soja, mamona, colza (canola), palma, girassol e amendoim, entre outros, e as de origem animal são obtidas do sebo bovino, suíno e de aves. Incluem-se entre as alternativas de matérias-primas os óleos utilizados em fritura (cocção).

O Biodiesel B100 não contém petróleo, mas pode ser misturado em qualquer nível com o diesel de origem fóssil, é utilizado como opção para o óleo diesel. No Brasil já está disponível em pelo menos 2.278 postos, desde o final de 2005, a mistura B2, que significa a mistura de 2% de biodiesel e 98% de óleo diesel derivado de petróleo, podendo ser utilizado nos motores à combustão dos transportes rodoviários, aquáticos e nos motores utilizados para a geração de energia elétrica.

A lei 11.097/2005 estabelece percentuais mínimos de mistura de biodiesel ao diesel e o monitoramento da inserção do novo combustível no mercado de forma gradativa, tornando obrigatório de 2008 2% de biodiesel na composição do diesel nos postos e a partir de 2013 5%.

A União Européia produz biodiesel em escala industrial desde 1992. Em 2006 contava com 120 plantas industriais e uma produção de 6.894 milhões de m³. Essas plantas estão localizadas na Alemanha, na França, na Itália, na Áustria e na Suécia, sendo a Alemanha o país com maior concentração de usinas. Em 2006, a Alemanha foi responsável por 44% da produção de biodiesel da União Européia, seguida da Itália com 14% e da França com 13%. O Brasil é o segundo maior país em produção e consumo de biodiesel depois da Alemanha. A principal matéria-prima utilizada para o processamento de biodiesel europeu é a colza (canola); e em menores proporções, os óleos de soja, de palma e de girassol.

O processo químico para a produção de Biodiesel é chamado de transesterificação, que nada mais é que a reação dos óleos ou gorduras com álcool na presença de hidróxido de potássio e hidróxido de sódio como catalisadores.

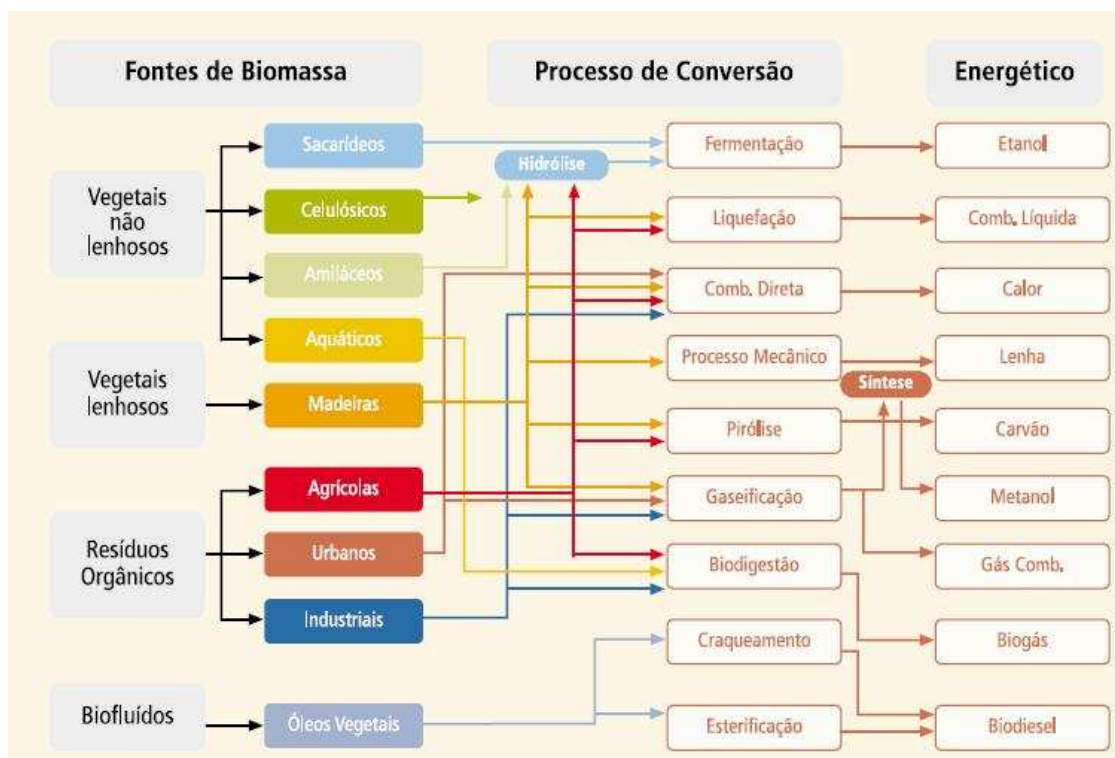


Figura 25 – Esquema do uso de biomassa para a geração de energia

Tabela 8 – Matérias primas para produção de biodiesel

Espécie	Produtividade (ton/ha)	Porcentagem de óleo	Ciclo de vida	Regiões Produtoras	Tipo de cultura	Rendimento (ton óleo/ha)
Algodão	0,86 a 1,4	15	Anual	MT, GO, MS, BA e MA	Mecânica	0,1 a 0,2
Amendoim	1,5 a 2	40 a 43	Anual	SP	Mecânica	0,6 a 0,8
Dendê	15 a 25	20	Perene	BA e PA	Intensiva	3 a 6
Girassol	1,5 a 2	28 a 48	Anual	GO, MS, SP, RS e PR	Mecânica	0,5 a 0,9
Mamona	0,5 a 1,5	43 a 45	Anual	Nordeste	Intensiva	0,5 a 0,9
Pinhão manso	2 a 12	50 a 52	Perene	Nordeste e MG	Intensiva	1 a 6
Soja	2 a 3	17	Anual	MT, PR, RS, GO, MS, MG e SP	Mecânica	0,2 a 0,4



Figura 26 – Regiões e matéria prima para biodiesel

8.2 Processo

Existem duas tecnologias que podem ser aplicadas para a obtenção de biodiesel a partir de óleos vegetais (puros ou de cocção) e sebo animal: a tecnologia de transesterificação e a tecnologia de craqueamento.

A tecnologia para a produção de biodiesel predominante no mundo é a rota tecnológica de transesterificação metálica, nas quais óleos vegetais ou sebo animal são misturados com metanol que, associados a um catalisador, produz biodiesel. A opção pelo metanol, principalmente em outros países, se deu pelo alto custo do etanol e pelo fato de que a rota etílica necessita de um excesso de álcool muito maior e de haver maior dificuldade de separação no final do processo.

Estudos mostram que para uma mesma quantidade molar de catalisador e demais condições, a rota metílica apresenta um rendimento muito maior.

Tabela 9 – Rendimento e Separação de fases para Ésteres Metílicos e Etílicos

Catalisador KOH %molar	Ésteres Metílicos			
	Separação de Fases	Rendimento % (25°C)	Separação de Fases	Rendimento % (50°C)
0,3	Sim	77,1	Sim	61,5
0,5	Sim	94,8	Sim	85,9
0,6	Sim	93,3	Sim	92,9
1,0	Sim	93,6	Sim	92,6
1,6	Sim	75,9	Sim	87,5
Catalisador KOH %molar	Ésteres Etílicos			
	Separação de Fases	Rendimento % (25°C)	Separação de Fases	Rendimento % (50°C)
0,3	Sim	61,4	Não	
0,5	Sim	76,1	Sim	73,6
0,6	Sim	77,3	Sim	75,9
1,0	Sim	88,1	Não	
1,6	Sim	75,7	Não	

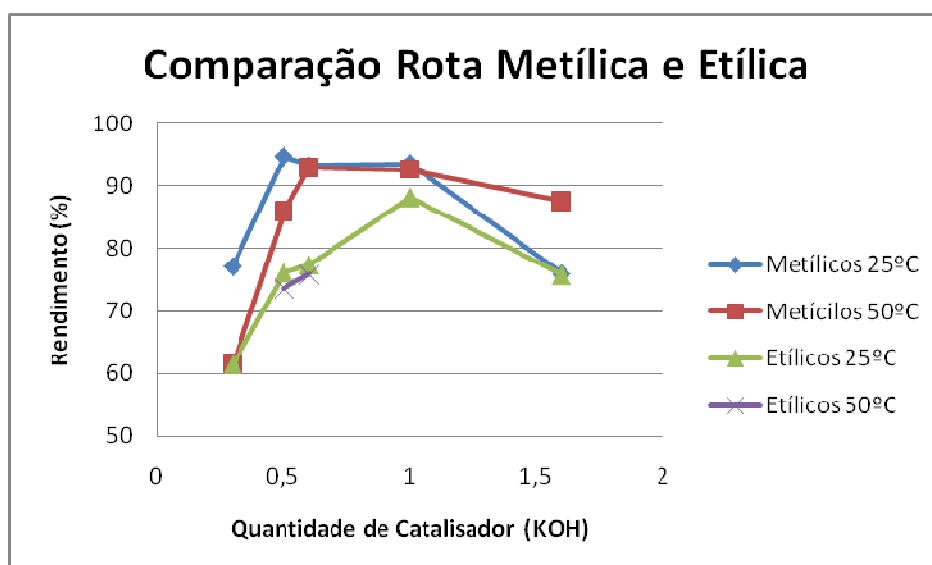


Figura 27 – Rendimento para Ésteres Metílicos e Etílicos [20]

No Brasil, os empreendimentos que estão em operação adotam a tecnologia denominada transesterificação com predominância da rota tecnológica metílica, mas já há empreendimentos que adotam a rota etílica.



Figura 28 – Entradas e saídas do processo

A transesterificação ocorre reagindo uma molécula triglicerídea com álcool em excesso na presença de um catalisador (KOH, NaOH, NaOCH₃, etc.) produzindo glicerina e ésteres. Metil e etil esters são basicamente os produtos do processo caso se use metanol e etanol respectivamente. Essa reação é reversível, então, para forçar a reação na direção dos produtos necessita-se um excesso de metanol de 60% a 200%.

A duração do processo varia de acordo com o rendimento da reação. O processo pode durar de 4 a 8 horas em temperatura ambiente e de cerca de 1 hora a 60°C. O catalisador é dissolvido no álcool e depois adicionado em ao óleo. Como o álcool é ligeiramente solúvel nos óleos e gorduras é necessário agitação durante o processo. A seqüência de reações passa a remoção das cadeiras carbônicas de óleo e gordura dos triglicerídeos para diglicerídeos, monoglicerídeos e por final glicerol. No estágio de diglicerídeos e monoglicerídeos a agitação é menos importante. Para acelerar ainda mais o processo e manter o equilíbrio dos produtos as reações são conduzidas em etapas. Durante a primeira etapa somente 80% do metanol e do catalisador é adicionado. A reação segue para o equilíbrio resultando glicerol que pode ser removido. A remoção do glicerol força a reação para favorecer a formação de produto, a presença do glicerol pode limitar a velocidade da reação.

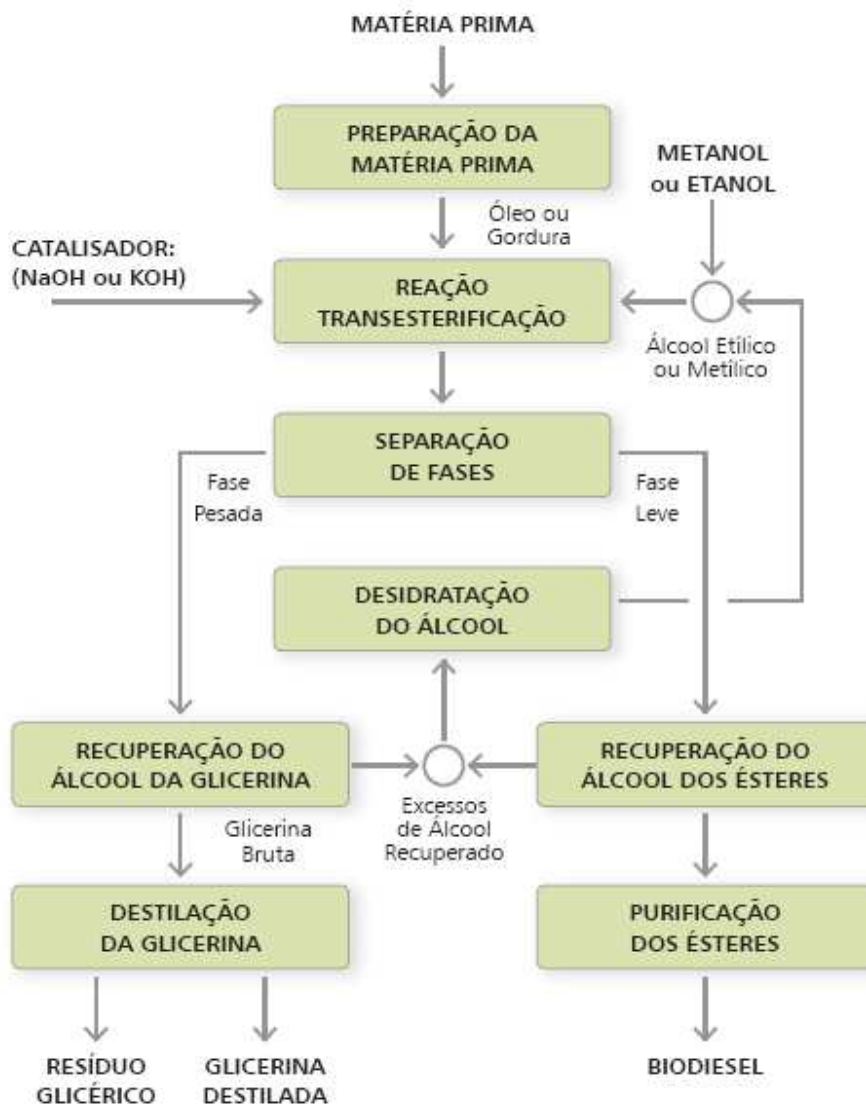


Figura 29 – Fluxograma do processo de fabricação de biodiesel

8.3 Equipamentos

As configurações dos equipamentos podem variar bastante dependendo do fabricante e da lógica do processo, principalmente quanto ao número de reservatório, dimensionamento e formas de aquecimento, agitação e transporte (bombas).

As resistências para o aquecimento da solução, a agitação, seja por agitadores mecânicos ou por borbulhante de ar (compressores) e bombas são basicamente os equipamentos que consomem alguma potência elétrica. Em geral, esse consumo se limita a poucos kW.

Uma miniusina de produção de biodiesel por batelada pode ser montada facilmente e a baixo custo. Um exemplo de montagem para escala piloto com capacidade de produção de 200L de biodiesel por batelada foi montada no Núcleo de Biodiesel da UFMA com um custo médio de R\$ 50.000,00 (cinquenta mil reais) e é constituída basicamente de:

Reator Principal: Tanque que ocorre a reação de transesterificação com aquecimento.

Tanque Decantação e de Lavagem: Tanque com uma resistência elétrica para o aquecimento e sistema de borbulhamento com injeção de ar comprimido onde se processará a separação dos ésteres e da glicerina, e posterior lavagem do biodiesel.

Reator de preparação do catalisador: Tanque com agitador mecânico para homogeneização da mistura do álcool e base.

Tanque de destilação: Tanque adaptado a um trocador de calor de placas e uma bomba de vácuo. Neste tanque ocorrerá a destilação do excesso de álcool utilizado no processo de transesterificação.

Consumo elétrico total máximo é de 13,5 kW



Figura 30 – Montagem parcial da planta piloto de produção de biodiesel.

Para o projeto no entanto foi utilizado somente usinas de produção de biodiesel por bateladas encontradas no mercado.

Tabela 10 – Usinas de biodiesel a batelada

Nome	Fabricante	Preço R\$	Capacidade (L)
JB 20	KILINDAS		80
JB 30	KILINDAS		125
JB 42	KILINDAS		175
JB 60	KILINDAS		250
JB 90	KILINDAS		375
JB 132	KILINDAS		550
JB 168	KILINDAS		700
JB 240	KILINDAS		1000
JB 336	KILINDAS		1400

8.4 Impactos sócio-ambientais

Com o objetivo de assegurar a efetiva participação de pequenos produtores no programa, o governo lançou o Selo Combustível Social por meio da Instrução Normativa nº. 02, de 30 de setembro de 2005, que dispõem sobre os critérios e os procedimentos relativos ao enquadramento de projetos de produção de biodiesel ao Selo Combustível Social.

O Selo de Combustível Social foi criado no esteio do Programa Nacional de Produção de Biodiesel e é concedido pelo Ministério de Desenvolvimento Agrário para empresas juridicamente constituídas sob as leis brasileiras e que possuam um projeto de produção de biodiesel que atendam as aquisições mínimas de matéria-prima dos agricultores, de acordo com os seguintes parâmetros regionais: 50% (cinquenta por cento) para a região Nordeste e semi-árido, 30% (trinta por cento) para as regiões Sudeste e Sul e 10% (dez por cento) para as regiões Norte e Centro-Oeste;

Com esses incentivos e a demanda crescente o biodiesel é um atrativo meio de desenvolvimento econômico e financeiro mesmo para pequenos grupos de pessoas.

9 GERADORES ESTACIONÁRIOS

9.1 Introdução

Denomina-se grupo gerador a montagem de um motor e um gerador e corrente alternada em conjunto. São amplamente utilizados para suprir pequenas demandas de energia devido a ter um custo de implantação relativamente baixa. Sua principal utilização é como suporte para eventuais faltas de energia por possuir partida rápida.

Cerca de 5% de todo o diesel utilizado no Brasil é utilizado motores de combustão interna integrando grupos geradores.

9.2 Motor diesel

Motores de combustão interna são de conhecimento geral tanto quanto componente e funcionamento, por esse motivo não nos aprofundaremos nesse aspecto.

É de conhecimento geral que motores diesel são máquinas térmicas alternativas, de combustão interna, destinadas ao suprimento de energia mecânica ou força motriz de acionamento. As diferenças básicas entre os diversos tipos de motores Diesel residem, essencialmente, sobre os sistemas que os compõem. Todos funcionam segundo as mesmas leis da termodinâmica, porém as alterações de projeto que se efetuam sobre os sistemas e seus componentes resultam em características de operação que os tornam adequados para aplicações diferentes.

O motor composto de um mecanismo capaz de transformar os movimentos alternativos dos pistões em movimento rotativo da árvore de manivelas, através da qual se transmite energia mecânica aos equipamentos acionados, como, por exemplo, um gerador de corrente alternada denominado ALTERNADOR. Este mecanismo se subdivide nos seguintes componentes principais:

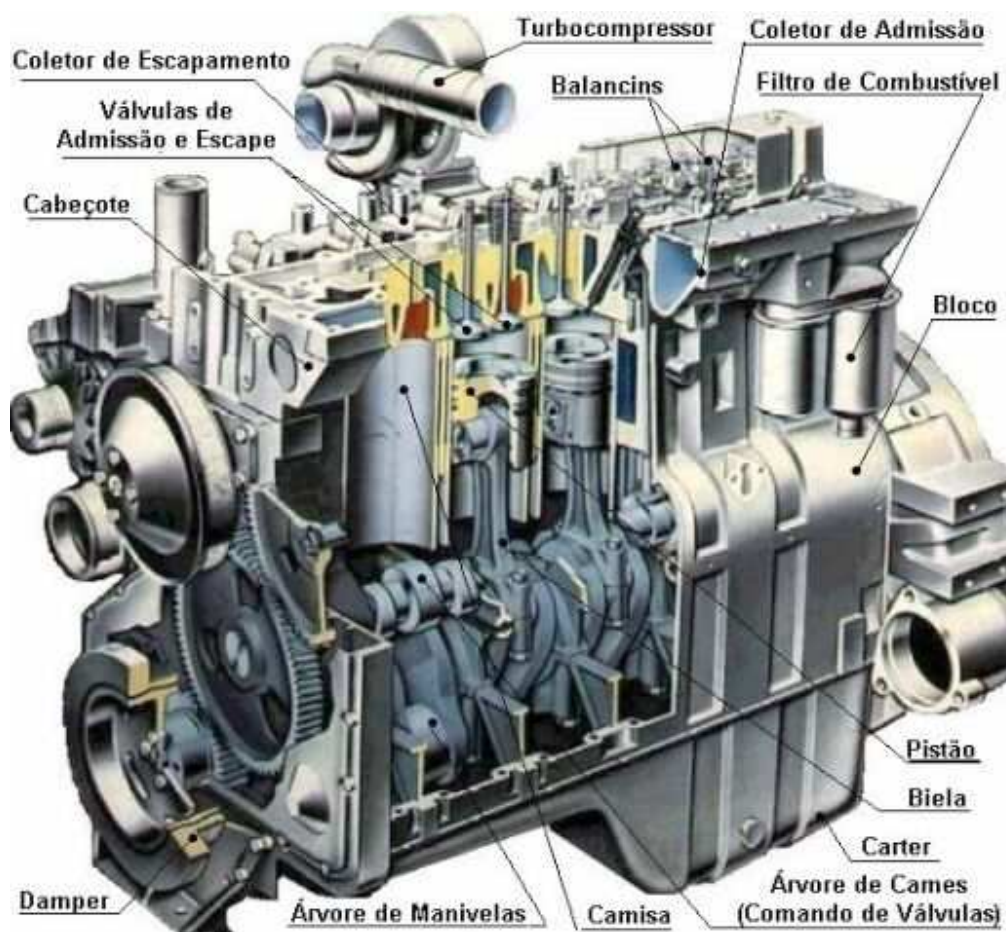


Figura 31 – Motor Diesel CUMMINS modelo 6CT8.3 visto em corte

9.3 Princípio de funcionamento

Os motores de combustão interna, segundo o tipo de combustível que utilizam, são classificados em motores do ciclo Otto e motores do ciclo Diesel.

Motores do ciclo Diesel são aqueles que aspiram ar, que após ser comprimido no interior dos cilindros, recebe o combustível sob pressão superior àquela em que o ar se encontra. A combustão ocorre por auto-ignição quando o combustível entra em contato com o ar aquecido pela pressão elevada. O combustível que é injetado ao final da compressão do ar, na maioria dos motores do ciclo Diesel é o óleo Diesel comercial, porém outros combustíveis, tais como nafta, óleos minerais mais pesados e óleos vegetais podem ser utilizados em motores construídos especificamente para a utilização destes combustíveis. O processo Diesel não se limita a combustíveis líquidos.

Um ciclo de trabalho de um motor de quatro tempos estende-se por duas rotações da árvore de manivelas, ou seja, quatro cursos do pistão.

9.4 Alternadores

Os alternadores ou geradores são máquinas destinadas a converter energia mecânica em energia elétrica. A transformação de energia nos geradores fundamenta-se no princípio físico conhecido como Lei de Lenz. Esta lei afirma que "quando existe indução magnética, a direção da força eletromotriz induzida é tal, que o campo magnético dela resultante tende a parar o movimento que produz a força eletromotriz."

Os alternadores pertencem à categoria das máquinas síncronas, isto é, máquinas cuja rotação é diretamente relacionada ao número de pólos magnéticos e a frequência da força eletromotriz. Não há, basicamente, diferenças construtivas entre um alternador e um motor síncrono, podendo um substituir o outro sem prejuízo de desempenho. Assim, um alternador quando tem seu eixo acionado por um motor, produz energia elétrica nos terminais e, ao contrário, recebendo energia elétrica nos seus terminais, produz energia mecânica na ponta do eixo, com o mesmo rendimento.

A indução magnética ocorre sempre que há movimento relativo entre um condutor e um campo magnético. O gerador elementar, concebido por Michael Faraday em 1831, na Inglaterra e mais ou menos na mesma época por Joseph Henry, nos Estados Unidos, era constituído por uma espira que girava entre os pólos de um ímã, semelhante à figura:

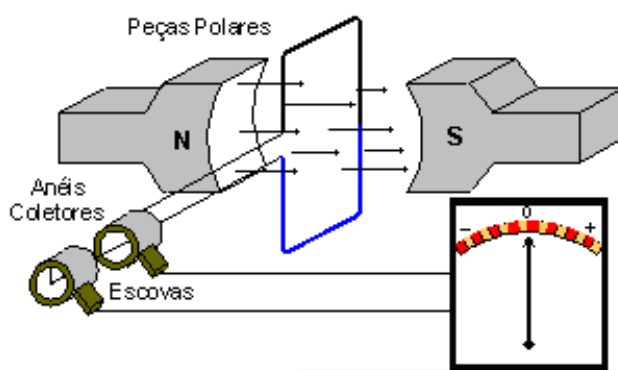


Figura 32 – Esquema de indução magnética

Uma espira de fio girando em um campo magnético forma um gerador elementar, que é ligado ao circuito externo por meio dos anéis coletores. A força eletromotriz e a corrente de um gerador elementar mudam de direção cada vez que a espira gira 180°. A tensão de saída deste gerador é alternada. É um alternador.

Faraday estabeleceu, ainda, que os valores instantâneos da força eletromotriz (ou tensão) podiam ser calculados pela relação:

$$e = B \cdot l \cdot v \cdot \sin\theta \quad (4)$$

onde:

e = Força eletromotriz;

B =Indução do Campo Magnético;

l =Comprimento do condutor;

v =Velocidade linear de deslocamento do condutor e

θ = Ângulo formado entre B e v .

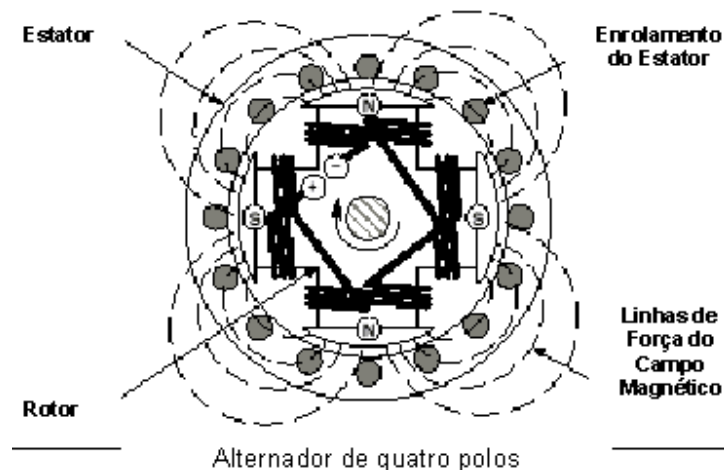


Figura 33 – Alternador de quatro pólos

Com muitas espiras, um campo magnético controlado por meio de um dispositivo de excitação com corrente contínua, montados em arranjo conveniente, fabrica-se os alternadores comerciais utilizados nos grupos geradores, bem como os grandes alternadores

das usinas hidroelétricas. Nas figuras, vistas de detalhes de alternadores produzidos pela WEG.

GERADOR COM MANCAL DUPLO (B5/B3T)

www.weg.com.br©

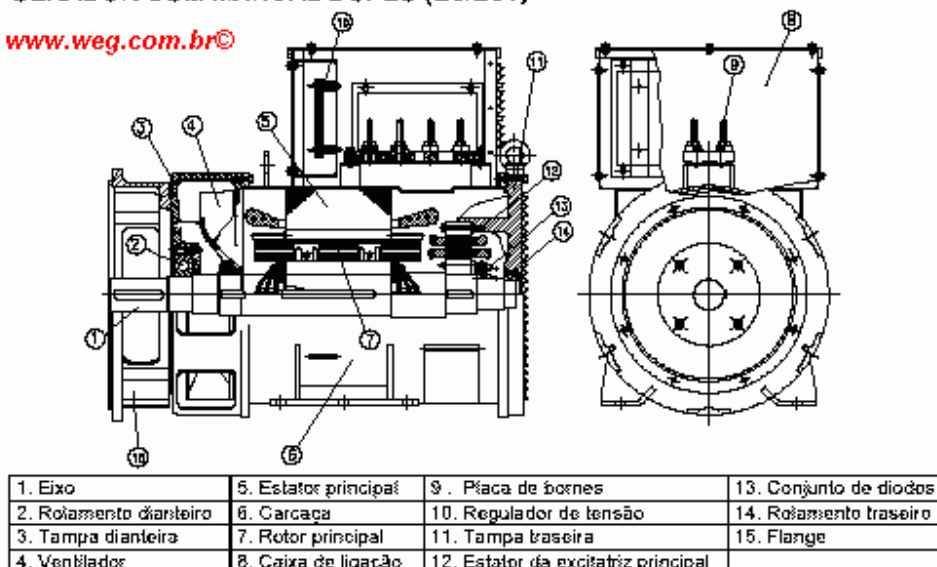


Figura 34 – Alternador WEG com mancal duplo

GERADOR COM MANCAL ÚNICO E EXCITATRIZ AUXILIAR (ESPECIAL)

www.weg.com.br©

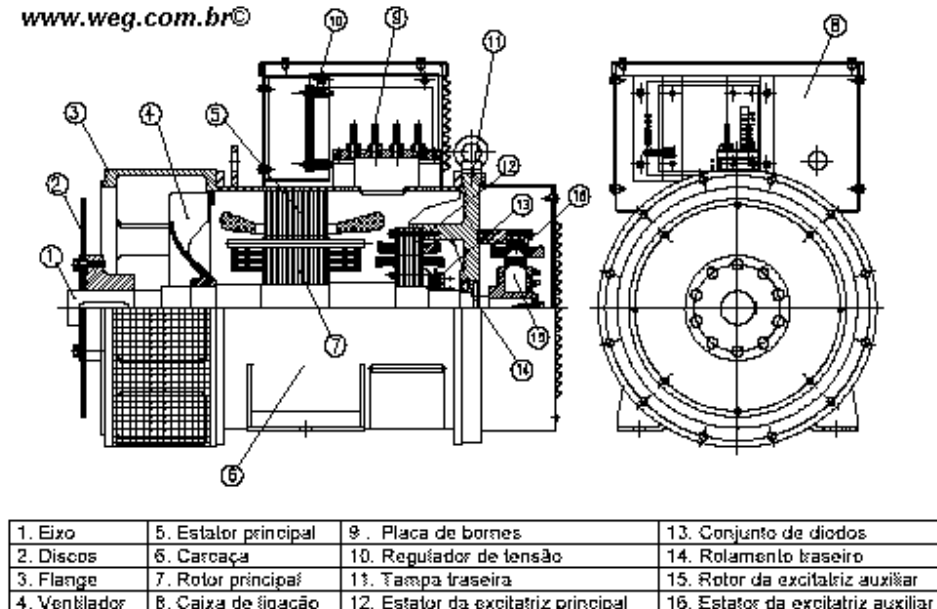


Figura 35 – Alternador WEG com mancal único

Mecanicamente, o alternador é constituído por duas partes principais: uma fixa, que é a carcaça, onde se encontram os pés de fixação, e a outra móvel (girante). A parte fixa chama-se estator e a parte móvel chamamos rotor. Eletricamente, também, são duas partes principais. Uma delas é responsável pelo campo magnético, onde estão localizados os pólos do alternador, que chamamos de campo (ou indutor). A outra parte é onde aparece a força eletromotriz, a qual se chama de induzido.

Os posicionamentos do campo e do induzido dão origem a dois tipos de máquinas diferentes. Quando o campo está localizado no estator, temos o que chamamos de máquina de pólos fixos (ou de pólos externos) e, ao contrário, quando o campo encontra-se no rotor, temos o que chamamos de máquina de pólos girantes (ou de pólos internos). As máquinas de pólos fixos são pouco utilizadas devido ao inconveniente da necessidade de escovas para retirar a energia gerada. As máquinas de pólos girantes são as mais utilizadas por permitirem a retirada da energia diretamente dos terminais das bobinas.

Pode-se ainda distinguir os alternadores segundo o número de fases, que, no caso presente, são:

Alternadores monofásicos: São aqueles que possuem as bobinas do enrolamento induzido de tal forma que a tensão de saída é obtida em dois pontos terminais.

Alternadores trifásicos: Possuem três grupos independentes de bobinas, montadas defasadas em 120° entre si, sendo ligadas de tal maneira que podemos ter três ou quatro pontos de ligação para os consumidores.

No sistema trifásico ligado a carga equilibrada não deve haver circulação de corrente pelo condutor neutro, o que na prática resulta muito difícil, razão pela qual, os alternadores chamados industriais são construídos para suportar um desequilíbrio de carga entre fases máximo de 15%, valor que não deve ser excedido, pois além de provocar funcionamento irregular e diferenças de tensão entre fases, pode danificar o alternador.

O que limita a potência do alternador é a temperatura alcançada pelo enrolamento do induzido. Por isso, são máquinas que sofrem perdas por aquecimento, que pode resultar da temperatura ambiente ou da altitude. Os alternadores de linha normal de produção são

fabricados para operar com temperatura ambiente máxima de 40°C e altitude de 1.000 m acima do nível do mar. Para serviço em condições mais adversas, é necessário corrigir para menos a potência do alternador.

9.5 Potência mecânica e elétrica

Quando se trabalha com potência elétrica, deve-se conhecer potência aparente e potência ativa. A potência aparente é aquela necessária para que, com determinados valores de tensão e corrente, certa carga funcione. Potência ativa é a que efetivamente é consumida ou transformada pela carga. Essas duas potências estão relacionadas da seguinte forma.

$$KVA = \frac{HP \cdot 0,7457 \cdot \eta}{\cos \phi} \quad (5)$$

onde:

HP : potência efetiva do motor;

$\cos \phi$: fator de potência, geralmente valor próximo de 0,8;

η : rendimento do alternador

O rendimento do alternador não é constante e se aproxima do seu valor máximo com a carga entre 80 e 100% da potência máxima, conforme a figura a seguir.

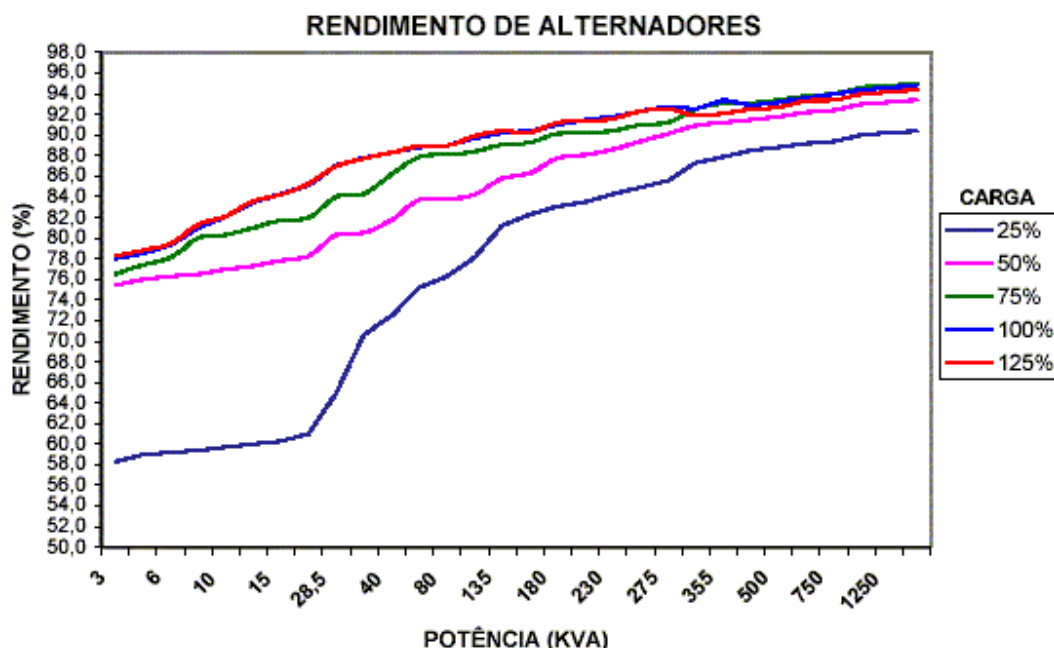


Figura 36 – Rendimento de Alternadores

9.6 Equipamentos

A escolha do gerador estacionário é realizada através apenas da potência nominal.

Será feita a escolha de menor custo, variando o número de geradores necessários para uma demanda determinada.

Tabela 11 – Geradores à Diesel e Características Principais

Modelo	Marc a	Potência Máxima kVA	Potência Nominal kVA	Preço	Consumo (L/h)
TG 400	TOYAMA	3,8	3	R\$ 2.110,00	1,51
TK6000 CXE	TOYAMA	5,5	5	R\$ 3.320,00	2,11
TD 7000 CXE	TOYAMA	6	5,5	R\$ 3.590,00	1,25
TD 7000 SGE	TOYAMA	6	5,5	R\$ 4.792,00	1,25
BD 6500 CF	Brushless	5,8	5,2	R\$ 5.498,00	2,40
BD 6500 CFES	Brushless	5,8	5,2	R\$ 5.399,00	2,40
BD-190 CFWE	Brushless	2,8	2,5	R\$ 5.498,00	2,40
BD-4000	Brushless	3,8	3,3	R\$ 3.259,00	2,40
BL 6500 ES	Pramac	6,3	5,6	R\$ 2.826,00	1,00
BD 2500 CF	Brushless	2,5	2,5	R\$ 2.593,00	2,40
BL 4500 LD	Pramac	4	3,6	R\$ 2.536,00	1,00

9.7 Impactos sócio-ambientais

Os principais impactos da geração de energia elétrica a partir de derivados de petróleo decorrem da emissão de poluentes na atmosfera, principalmente os chamados gases de efeito estufa (GEE). Os mais problemáticos são o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso N₂O.

Pelo menos parte das mudanças climáticas verificadas nas últimas décadas, entre elas o aumento da temperatura média do planeta, tem sido atribuída ao aumento da concentração desses gases na atmosfera. Grande porção dessas emissões decorre da queima de combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás natural) para a geração de energia elétrica.

Entre outros poluentes atmosféricos decorrentes da queima de derivados de petróleo, principalmente em plantas termelétricas, destacam-se o dióxido de enxofre (SO₂) e o chamado material particulado, constituído de pó e cinzas em suspensão nos gases emitidos durante a queima de combustíveis fósseis. Além de alterações na biodiversidade local, esses poluentes provocam diversos males à saúde humana, como distúrbios respiratórios, alergias, lesões degenerativas no sistema nervoso e em órgãos vitais, câncer etc. Esses distúrbios tendem a se agravar no inverno, quando inversões térmicas provocam o aprisionamento do ar quente e dificultam a dispersão dos poluentes.

10 PROGRAMA DE AVALIAÇÃO DA MELHOR ALTERNATIVA

A partir dos estudos dos dispositivos apresentados até agora é possível realizar o dimensionamento e escolha dos componentes necessários para suprir uma dada demanda.

Todos os cálculos e planilhas de dados dos equipamentos foram organizados no software Microsoft Excel para facilitar e agilizar os procedimentos. Algumas macros foram criadas em ambiente Visual Basic for Application para rotinas de escolha e decisão cujo código estão contidos no ANEXO B.

a seguir estão apresentados os procedimentos de cálculo utilizados para o dimensionamento de cada alternativa, as planilhas e o procedimento a ser seguido.

10.1 Consumo Elétrico

Nessa planilha devem ser inseridos os gastos com energia elétrica e o período de utilização dos equipamentos.

Alguns equipamentos, apesar de permanecerem ligados na rede elétrica, têm seu uso descontínuo ou intermitente, como no caso de geladeiras e freezers, que permanecem com os compressores desligados a maior parte do dia. Por isso a planilha é dividida em duas tabelas, uma para os aparelhos de uso direto e restrito e outro para os aparelhos de uso intermitente.

Podem ser inseridos os nomes dos equipamentos, a potência consumida e o horário de início de utilização e o horário final de utilização do equipamento. Para equipamentos de uso intermitente considera-se que é necessária a demanda ininterrupta de energia para seu funcionamento.

A seguir são mostradas as Figuras 37 e 38 das tabelas citadas.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Consumo Elétrico								
2				Início		Fim		Temp	Consumo
3	Qtidade	Aparelho	Pot(w)	h	min	h	min	o	Diário Wh
4	1	Aparelho de som / rádio	100	11	30	13	50	2,33	233
5		Air-condicionado	1000					0,00	0
6		Aspirador de pó	700					0,00	0
7	1	Batedeira	100	11	30	11	45	0,25	25
8		Cafeteira	650					0,00	0
9	1	Carregador de bateria	70	21	0	22	0	1,00	70
10	1	Computador	150	8	30	21	30	13,00	1950
11	1	DVD	25	21	30	23	0	1,50	38
12	1	Ferro de passar roupas	1000	15	30	16	30	1,00	1000
13		Forno Elétrico	2000					0,00	0
14		Impressora	90					0,00	0
15		Lâmpada fluorescente compacta (15w)	15					0,00	0
16	3	Lâmpada fluorescente compacta (20w)	20	19	0	23	0	4,00	80
17		Lâmpada fluorescente tubular 120cm (40w)	40					0,00	0
18	3	Lâmpada fluorescente tubular 60cm (30w)	30	19	0	23	0	4,00	120
19		Lâmpada incandescente (100w)	100					0,00	0
20	4	Lâmpada incandescente (150w)	150	19	0	23	0	4,00	600
21	4	Lâmpada incandescente (60w)	60	19	0	23	0	4,00	240
22	1	Liquidificador	350	11	30	11	50	0,33	117
23	1	Máquina de lavar roupas	600	14	0	17		3,00	1800
24		Microondas	1200	12	0	12	10	0,17	200
25			1200	19	30	19	40	0,17	200
26		Secador de cabelo	1000	19	0	19	15	0,25	250
27		Televisão 14"	45					0,00	0
28	1	Televisão 20"	60	11	0	13	30	2,50	150
29				15	30	16	30	1,00	0
30				20	0	23	0	3,00	0
31									
32	Total da demanda diária de equipamentos de consumo direto em Wh								
									7073

Figura 37 – Planilha Consumo Elétrico, tabela para aparelhos comuns

	Qtde	Aparelhos de Consumo Intermitente	Pot(w)	Observações de funcionamento				Consumo Diário Wh
34		Freezer	250	Opera aprox. 10h/dia				2500
35		Geladeira	250	Opera aprox. 10h/dia				2500
36	1							
37								
38								
39								
40								
41								
42								
43	Total da demanda diária de equipamentos de consumo intermitente em W							500
44	Total da demanda diária de equipamentos de consumo intermitente em Wh							5000

Figura 38 – Planilha Consumo Elétrico, tabela para aparelhos de consumo intermitente

Em seguida há mais uma tabela contendo os dados para o preenchimento de consumo de água e de aparelhos que aquecimento de água.

46	Consumo de Água											
47				Tempo		Tempo		Tempo	Consumo	Gasto	Consumo	Consumo
48	Qtidade	Aparelho	Pot(w)	h	min	h	min	o	Diário Wh	(L/min)	Total	Total não
49	2	Chuveiro Elétrico	4200	6	30	7	0	0,50	4200	9	540	0
50	2	Chuveiro Elétrico	4200	18	30	19	0	0,50	4200	9	540	0
51		Torneira Elétrica	4500	0	0	0	0	0,00	0	12	0	0
52	2	Torneira	0	13	30	14	0	0,50	0	12	0	720
53	2	Torneira	0	20	0	20	30	0,50	0	12	0	720
54	1	Ducha	0	0	20	0	20	0,00	0	16	0	0
55	Demanda diária para aquecimento de água em Wh								8400			
56												
57	Demanda diária de energia elétrica em kWh								20			
58	Demanda diária de água aquecida em Litros										1080	
59	Demanda diária de água não aquecida em Litros											1440

Figura 39 – Planilha Consumo Elétrico, tabela para consumo de água e equipamentos de aquecimento.

Esses dados servirão de base para a elaboração da curva de carga e para a determinação da demanda elétrica diária como apresentada na Figura 40.

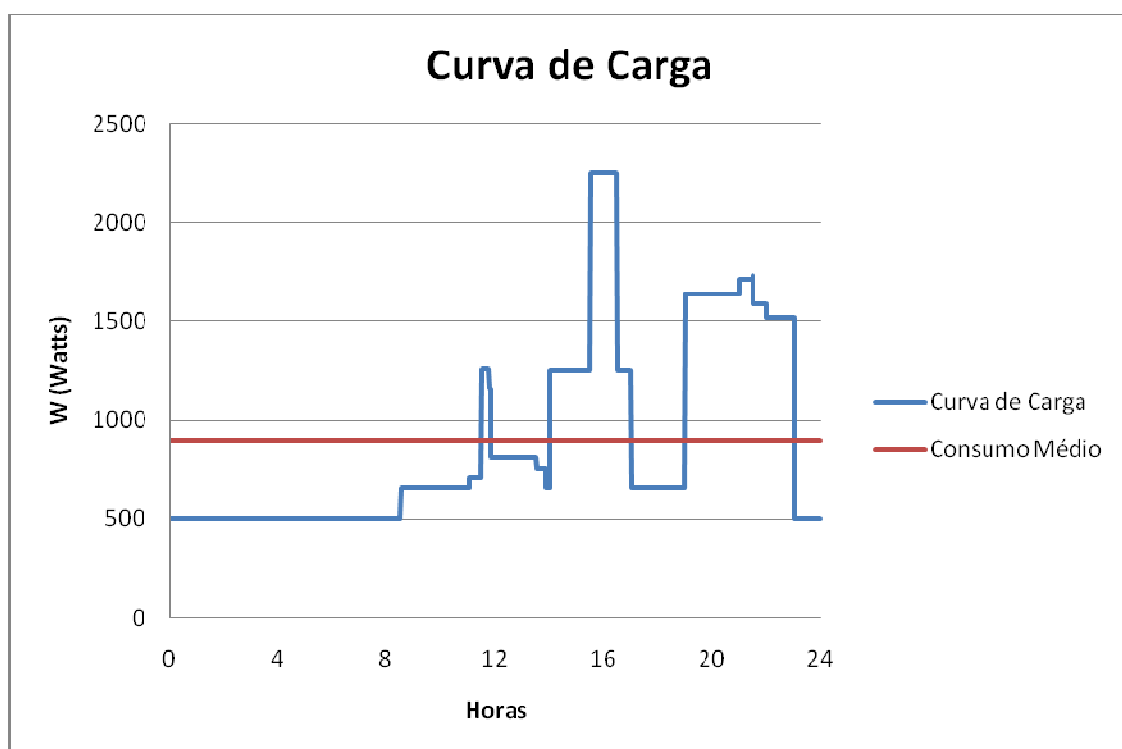


Figura 40 – Curva de Carga

A partir da curva de carga é calculado o consumo médio. O sistema eólico será responsável por fornecer a potência necessária para manter esse consumo médio. Esse valor poderá ser incrementado pelo uso de células foto-voltaicas. Para os valores acima do valor de consumo

médio será necessário usar a energia armazenada nas baterias e a energia fornecida a partir do gerador estacionário.

10.2 Formulário Principal

Uma vez que a planilha Consumo Elétrico tenha sido preenchida é necessário o preenchimento da planilha Formulário Principal. Nessa planilha serão feitos todos os cálculos e análises necessárias.

Essa planilha é dividida em algumas tabelas para facilitar a visualização e o preenchimento. Note que os espaços a serem preenchidos foram deixados na cor branca e há algumas “Combo Box” que também devem ser selecionados.

10.2.1 Sistema Eólico

Para essa tabela são entradas:

- Velocidade do vento: Velocidade média anual do vento (m/s)
- Altura da medição da velocidade do vento
- Altura de instalação da turbina eólica
- Tipo de Terreno: A seleção do tipo de terreno irá preencher automaticamente o fator de rugosidade do terreno

Outro dado de entrada já preenchido é a Demanda Média, dado adquirido a partir da Planilha Consumo Elétrico, por essa e outras razões é importante o preenchimento das planilhas na ordem pré-determinada. A Figura 41 mostra a tabela Sistema Eólico:

	A	B	C	D	E	F	G
1	Sistema Eólico						
2	Entradas			Prioridade	Saídas		
3							
4							
5	Velocidade média do vento	5	m/s	Potência	Velocidade útil	3,66	m/s
6	Altura da medida	50	m		Potência Gerada Aprox.	965,61	W
7	Altura da instalação	15	m		Modelo	FD8.0-10k-20	
8	Tipo de Terreno			Custo-Benefício	Quantidade	1	
9	Terreno com muitas árvores ou edificações				Preço	R\$ 8.000,00	
10	Fator de Rugosidade	0,26			R\$/kW	8,28	
11	Demanda Média	891	w		Tensão de Saída	240	V
12							

Figura 41 – Tabela Sistema Eólico

É possível escolher a prioridade para a seleção da turbina eólica entre as seguintes opções:

- **Potencia:** Escolhe a turbina eólica que apresenta a maior potencia indicada para a velocidade útil calculada.
- **Custo:** Escolhe a turbina eólica mais barata da lista de equipamentos
- **Custo-Benefício:** Através de um calculo simples seleciona-se a turbina com o menor valor de R\$/kW gerado.

Deste modo o sistema retorna a melhor configuração para a prioridade desejada.

10.2.2 Sistema Solar

A tabela a seguir é a relacionada com os sistemas solares de aquecimento de água e geração de energia.

As entradas para essa tabela são:

- **Intensidade Solar Média:** Pode ser adquirida através do site do CRESESB
- **Temperatura Desejada:** Temperatura da água do reservatório.
- **Temperatura Ambiente:** Temperatura média atmosférica

Da mesma forma que para a seleção das turbinas eólicas, é possível priorizar algumas características para a escolha das placas de aquecimento solar, entre elas estão:

- Aproveitamento: Escolhe a placa que apresenta a maior relação entre eficiência e área do painel solar.
- Custo: Escolhe placa solar mais barata da lista de equipamentos.
- Custo-Benefício: Através de um calculo simples seleciona-se a placa solar com o menor valor de R\$/kW aproveitado.

A capacidade do reservatório ou boiler deve ser escolhida através de uma “Combo Box” de acordo com o consumo de água aquecida apresentada.

Da mesma forma ocorre a seleção para as placas de células fotovoltaicas. É possível priorizar algumas características que são:

- Eficiência: Escolhe a placa de células fotovoltaicas que apresenta a maior eficiência.
- Custo: Escolhe placa de células fotovoltaicas mais baratas da lista de equipamentos.
- Custo-Benefício: Através de um calculo simples seleciona-se a placa de células fotovoltaicas com o menor valor de R\$/kW aproveitado.

A Figura 42 mostra a tabela Sistema Solar

Sistema Solar					
Entradas			Prioridade	Saídas	
Intensidade solar média (kWh/m2.dia)	2,94			CRESESB	
Consumo Água Quente por dia	1080	Litros	Aproveitamento	Aquecedor Solar	Soletrol Max Alumínio Vertical
Temperatura Desejada	40		Custo	Área da Placa Solar	2 m2
Temperatura Ambiente	25		Custo-Benefício	Eficiência da Placa Solar	0,597
				Energia Média Gerada	3,51 kWh/m2.dia
				Volume de Água Aquecida	201,55 L
				Total de Placas	6
				Preço	R\$ 800,00
				Capacidade do reservatório	800
				Reservatório	Térmico horizontal alta pressão
				Preço	R\$ 3.500,00
Entradas			Prioridade	Saídas	
Quantidade de Placas	1			Célula Fotovoltaica	KC130TM
1 Módulo - Controlador	12	V	Eficiência	Marca	Kyocera
2 Módulos - Controlador	12	V	Custo	Potência	271,6509 W
			Custo-Benefício	Potencia Gerada	271,6509
				Preço	R\$ 1.560,00
				Controlador	SS
				Marca	Morningstar
				Preço	R\$ 480,00

Figura 42 – Tabela Sistema Solar

10.2.3 Biodiesel

Como dados de entrada da tabela biodiesel estão:

- Matéria Prima: Algodão, Amendoim, Dendê, Girassol, Mamona, Pinhão Manso, Soja.
- Massa de Matéria Prima
- Rota: Rota de produção de Biodiesel, podendo ser etílica ou metílica

Como saídas temos o rendimento do processo e a massa de biodiesel gerada. A partir desses dados e dos outros dados de entrada é possível escolher entre os equipamentos aquele que apresenta uma capacidade por batelada adequada.

A seguir é apresentada a Figura 43 que ilustra a tabela Biodiesel.

Biodiesel			
Entradas		Saídas	
Materia Prima	Girassol	Rendimento	93,6 %
Porcentagem de Óleo	28 %	Massa de Biodiesel	26,208 kg
Massa de Matéria Prima	100 kg	Volume de Biodiesel	28,33 L
Massa de Óleo	28 kg	Escolha do Equipamento	JB 90
Massa de Alcool + Catalizador	168 kg	Energia Consumida no processo	5457,4 kW
Rota	Metlica	Capacidade por batelada	375
Massa KOH	2,94 kg	Preço	R\$ 9.000,00
Volume Total	242 L		
Temperatura	25 °C		
Tempo do Processo	60 min		

Figura 43 – Tabela Biodiesel

10.2.4 Gerador Estacionário

Como dado de entrada da tabela Gerador Estacionário temos somente o preço do litro do diesel. Em seguida é selecionada a prioridade para escolha do gerador estacionário entre potência, consumo e preço. A Figura 44 mostra a tabela Gerador Estacionário.

Gerador Estacionário			
Entradas		Saídas	
Preço Diesel (R\$/Litro)	1,94	Potência	
Demanda de Pico	2250 W	Consumo	
Variação de Demanda	1359 W	Preço	
		Marca	TOYAMA
		Modelo	TG 400
		Potencia Nominal	3 kVA
		Consumo	1,51 L/h
		Preço	R\$ 2.110,00
		Quant. de Geradores	1

Figura 44 – Tabela Gerador Estacionário

10.2.5 Baterias

As baterias serão as responsáveis por armazenar a energia excedente na geração através do sistema eólico e das placas fotovoltaicas. As entradas são preenchidas automaticamente, a única variável que deve ser inserida nesse caso é a quantidade de baterias.

66	Baterias					
67						
68	Entradas			Saídas		
69						
70	Energia Gerada	1237	W	Modelo	12MF36	
71	Demanda Média	891	W	Marca	Moura	
72	Saldo Positivo de Energia	346	W	Capacidade	36	Ah
73	Tensão de Saída	12	W	Quantidade	2	
74	Corrente armazenada	28,85	Ah	Preço	R\$	380,00
75						
76						

Figura 45 – Tabela Baterias

10.2.6 Rede elétrica convencional

Nessa tabela são colocados os valores para a comparação com a rede elétrica comum. Os valores de entrada são:

Valor da tarifa publicada pela ANEEL: Valor fixo que varia de concessionária para concessionária.

ICMS: Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

PIS: Programa de Integração Social

COFINS: Contribuição Para o Financiamento da Seguridade Social

CIP: Contribuição de Iluminação Pública

Assim, o valor cobrado do consumidor e total a pagar pela energia convencional são calculados automaticamente como mostra a Figura 46.

77	Rede Elétrica Convencional			
78				
79	Entradas		Saídas	
80				
81	Valor da tarifa publicada pela ANEEL (R\$/kWh)	0,24606	Total a pagar pela energia elétrica por dia	R\$ 9,85
82	ICMS (%)	12	por mês	R\$ 295,43
83	PIS (%)	1,53		
84	COFINS (%)	7,11		
85	Valor a ser cobrado do consumidor (R\$/kWh)	0,3100554		
86				
87	Consumo Total kWh	20		
88				
89	Contribuição de Iluminação Pública (CIP)	3,5		
90				

Figura 46 – Rede Elétrica Convencional

10.2.7 Custo Total e Tempo de Retorno

Finalmente, a tabela Custo Total e Tempo de Retorno exibem o custo total da instalação e o tempo de retorno do investimento se comparado com o gasto com a rede elétrica convencional, como mostra a Figura 47.

91	Custo Total e Tempo de Retorno			
92				
93	Custo total da Instalação	R\$	25.030,00	
94	Energia Elétrica Convencional	R\$	295,43	
95	Tempo de Retorno	7,06	Anos	
96				
97				
98				

Figura 47 – Tabela Baterias

10.3 Geradores Eólicos

Na planilha Geradores Eólicos está localizada a tabela com os equipamentos quanto a modelo, preço, potência máxima, potencia nominal e tensão de saída como mostrado na Tabela 12.

Nessa tabela estão localizados também os pontos das curvas de potência da qual é feita a interpolação para se obter a potência gerada.

10.4 Rugosidade

Como dito anteriormente, a rugosidade do terreno é um fator que altera a velocidade útil do vento. Na Tabela 13 são mostradas as relações de rugosidade e terreno

10.5 Placas Solares

A Planilha Placas Solares se refere aos dados da Tabela 12 referente ao sistema de aquecimento de água.

Tabela 12 – Placas Solares

Placas solares	Área (m²)	Preço (R\$)	Eficiência (%)
Soletrol Max Mini Vertical	1	450	0,517
Soletrol Max Cobre Vertical	1,45	620	0,542
Soletrol Max Alumínio Vertical	1,45	640	0,554
Soletrol Max Alumínio Horizontal/Vertical	1,58	730	0,597
Soletrol Max Alumínio Horizontal/Vertical	2	800	0,538
Soletrol Max Alumínio Vertical	2	800	0,597

10.6 Reservatórios

Também referente ao sistema de aquecimento de água, a planilha Reservatórios contém os dados da Tabela 13

Tabela 13 – Reservatórios

Reservatório ou Boiler	Capacidade (L)	Preço (R\$)
Térmico horizontal	200	1000
Térmico horizontal	300	1400
Térmico horizontal	400	1880
Térmico horizontal	500	2300
Térmico horizontal	600	2760
Térmico horizontal alta pressão	800	3500
Térmico horizontal alta pressão	1000	4250

10.7 Fotovoltaica

A Planilha Fotovoltaica contém os dados para o dimensionamento das Placas Fotovoltaicas como mostra a Figura 48 e a Tabela 14

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1				Potência gerada por Radiação Solar					y=ax+b		Controladores por Módulos		Tensão de Saída
2	Modelo	Marca	Preço	200	400	600	800	1000	a	b	1 Módulo	2 Módulos	
3	KC40T	Kyocera	R\$ 560,00	5,79	12,26	18,04	24,44	28,85	0,0291	0,3907	8	12	12
4	KC50T	Kyocera	R\$ 730,00	7,95	15,43	23,69	31,01	39,90	0,0397	0,2494	8	12	12
5	KC65T	Kyocera	R\$ 920,00	9,51	18,86	27,90	37,56	46,60	0,0464	0,2182	8	15	12
6	KC85T	Kyocera	R\$ 1.140,00	14,08	25,62	37,85	51,00	61,15	0,0598	2,0769	12	15	12
7	KC130TM	Kyocera	R\$ 1.560,00	19,03	37,37	55,89	74,74	92,57	0,0922	0,5829	12	22	12

Figura 48 – Placas Fotovoltaicas

Tabela 14 – Controladores

Controladores				
Modelo	Fabricante	Voltagem	Corrente	Preço
SHS	Morningstar	12	10	R\$ 220,00
SS	Morningstar	12	10	R\$ 290,00
SS	Morningstar	12	20	R\$ 480,00
Prostar PS	Morningstar	12 ou 24	15	R\$ 420,00
SCC Eco	Conergy	12 ou 24	15	R\$ 240,00
Solsum 8.8	Steca GmbH	12	8	R\$ 265,00
SR 12 A	Steca GmbH	12 ou 24	12	R\$ 480,00

10.8 Biodiesel

Na Planilha Biodiesel, são armazenados os dados dos equipamentos para a produção de biodiesel por batelada. Esses dados consistem na Tabela 15 a seguir.

Tabela 15 – Equipamento para produção de Biodiesel por batelada

Nome	Fabricante	Preço R\$	Capacidade (L)	Total (W)
JB 20	KILINDAS	2000	80	5457,4
JB 30	KILINDAS	3000	125	5457,4
JB 42	KILINDAS	4200	175	5457,4
JB 60	KILINDAS	6000	250	5457,4
JB 90	KILINDAS	9000	375	5457,4
JB 132	KILINDAS	13200	550	5457,4
JB 168	KILINDAS	16800	700	5457,4
JB 240	KILINDAS	24000	1000	5457,4
JB 336	KILINDAS	33600	1400	5457,4

10.9 Biodiesel Matéria Prima

A Planilha Biodiesel Matéria Prima contém os dados das espécies utilizadas para a produção de biodiesel assim como dados quando a produtividade e porcentagem de óleo em massa como mostra a Figura 49.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Espécie	Produtividade (ton/ha)		Porcentagem de óleo		Ciclo de Vida	Tipo	Rendimento (ton óleo/ha)	
2		Menor	Maior	Menor	Maior			Menor	Maior
3	Algodão	0,86	1,4	15	15	Anual	Mecânica	0,1	0,2
4	Amendoim	1,5	2	40	43	Anual	Mecânica	0,6	0,8
5	Dendê	15	25	20	20	Perene	Intensiva	3	6
6	Girassol	1,5	2	28	48	Anual	Mecânica	0,5	0,9
7	Mamona	0,5	1,5	43	45	Anual	Intensiva	0,5	0,9
8	Pinhão Manso	2	12	50	52	Perene	Intensiva	1	6
9	Soja	2	3	17	17	Anual	Mecânica	0,2	0,4

Figura 49 – Biodiesel Matéria Prima

10.10 Rota Biodiesel

A Planilha Rota Biodiesel contém apenas as informações necessárias para definir o rendimento e outras variáveis da produção de biodiesel a partir do metanol e etanol.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Separação de Fases	Rendimento % (25°C)	Catalisador KOH %molar	Temperatura °C	Tempo do Processo	Massa molecular g/mol	Densidade kg/l
2	Metilica	93,6	1	25	60	32,04	0,7918
3	Etilica	88,1	1	25	60	46,07	0,7894

Figura 50 – Rota Biodiesel

10.11 Gerador Estacionário

Na Planilha Gerador Estacionário são armazenados as informações a respeito dos Geradores e todas as características técnicas relevantes, como mostra a Figura 51.

	A	B	C	D	K	L
1	Modelo	Marc a	Potência Máxima	Potência Nominal	Preço	Consumo (L/h)
2	TG 400	TOYAMA	3,8	3	R\$ 2.110,00	1,51
3	TK6000 CXE	TOYAMA	5,5	5	R\$ 3.320,00	2,11
4	TD 7000 CXE	TOYAMA	6	5,5	R\$ 3.590,00	1,25
5	TD 7000 SGE	TOYAMA	6	5,5	R\$ 4.792,00	1,25
6	BD 6500 CF	Brushless	5,8	5,2	R\$ 5.498,00	2,40
7	BD 6500 CFES	Brushless	5,8	5,2	R\$ 5.399,00	2,40
8	BD-190 CFWE	Brushless	2,8	2,5	R\$ 5.498,00	2,40
9	BD-4000	Brushless	3,8	3,3	R\$ 3.259,00	2,40
10	BL 6500 ES	Pramac	6,3	5,6	R\$ 2.826,00	1,00
11	BD 2500 CF	Brushless	2,5	2,5	R\$ 2.593,00	2,40
12	BL 4500 LD	Pramac	4	3,6	R\$ 2.536,00	1,00

Figura 51 – Gerador Estacionário

10.12 Baterias

Finalmente a planilha Baterias, onde as informação a respeito dos acumuladores de carga soa descritos, como mostra a Figura 52.

	A	B	C	D	E	F
1				Tensão Nominal	Capacidade a 25°C por 20h (Ah)	Potência Armazenada (VAh ou Wh)
2	Marca	Modelos	Preço (R\$)	(V)		
4	Moura	12MF36	190	12	36	432
5	Moura	12MF45	214	12	45	540
6	Moura	12MF55	223	12	55	660
7	Moura	12MF63	238	12	63	756
8	Moura	12MF80	342	12	80	960
9	Moura	12MF100	423	12	100	1200
10	Moura	12MF105	568	12	105	1260
11	Moura	12MF150	740	12	150	1800
12	Moura	12MF175	845	12	175	2100
13	Moura	12MF220	1157	12	220	2640

Figura 52 – Gerador Estacionário

11 RESULTADOS

11.1 Validação do programa

Com o programa executado a partir das planilhas é necessário a validação do programa para determinar se os resultados obtidos são coerentes. Para isso serão simuladas situações para uma mesma curva de carga para situações diferentes.

Dada a curva de carga da Figura 53, serão simuladas as seguintes situações:

Situação 1: Intensidade solar alta, disponibilidade de ventos baixas

Situação 2: Intensidade solar baixa, disponibilidade de ventos alta

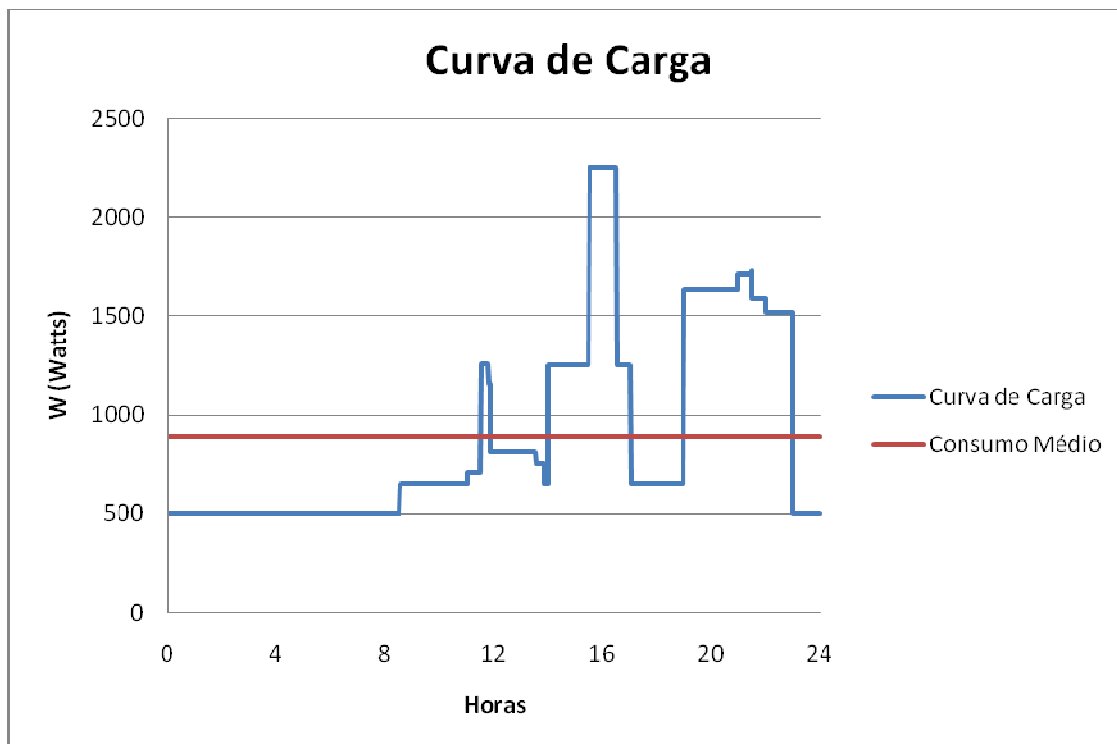


Figura 53 – Gerador Estacionário

11.1.1 Situação 1

Utilizando como referencia a cidade de Petrolina (9,396° S, 40,499°W) – Bahia

Entradas

Sistema Eólico

Velocidade média do vento: 5 m/s

Altura de medida: 50m

Altura da instalação: 20m

Tipo de Terreno: Terreno cultivado

Demanda Média: 891W

Sistema Solar

Intensidade Solar Média: 5,4 kWh/m².dia

Consumo Água Quente por dia: 1080 Litros

Temperatura Desejada: 40°C

Temperatura Ambiente: 30°C

Quantidade de Placas Fotovoltaicas: 2

Biodiesel

Matéria Prima: Dendê

Massa de Matéria Prima: 100kg

Rota: Etilica

Volume Total: 174 Litros

Gerador Estacionário

Preço Diesel: 1,94 R\$/Litro

Rede Elétrica Convencional

Valor da tarifa ANEEL: R\$ 0,33822

ICMS 12%

PIS 1,53%

COFINS 7,11%

CIP R\$ 3,50

Saídas

Sistema Eólico

Prioridade: Custo-Benefício

Modelo: FD8.0-10K-20

Quantidade: 1

Potência Gerada: 1160,87W

Preço: R\$ 8.000,00

Sistema Solar

Aquecedor Solar: Soletrol Max Alumínio Horizontal/Vertical

Área da Placa Solar: 1,58 m²

Eficiência da Placa Solar: 0,597

Energia Média Gerada: 5,09 kWh/m².dia

Volume de Água Aquecida: 438,68 L

Total de Placas: 3

Preço R\$ 2.190,00

Capacidade do reservatório 1000 Litros

Térmico horizontal alta pressão

Preço: R\$ 4.250,00

Placa Fotovoltaica KC130TM

Marca Kyocera

Potência 498,4629 W

Potência Gerada: 996,9258

Preço: R\$ 3.120,00

Controlador SS Morningstar

Preço R\$ 480,00

Biodiesel

Volume de Biodiesel: 19,05 L por batelada

Energia Consumida: 5457,4 kW

Capacidade por batelada: 250 Litros

Preço: R\$ 6.000,00

Gerador Estacionário

Marca: Pramac

Modelo:BL 4500 LD

Potencia Nominal: 3,6 kVA

Consumo: 1,00 L/h

Preço: R\$ 2.536,00

Quant. de Geradores 1

Baterias

Modelo:12MF150

Marca: Moura

Capacidade: 150 Ah

Quantidade: 2

Preço: R\$ 1.480,00

Rede Elétrica Convencional

Total a pagar por mês: R\$ 366,75

Custo Total e Tempo de Retorno

Custo total da Instalação: R\$ 23.330,00

Energia Elétrica Convencional: R\$ 366,75

Tempo de Retorno: 5,30 Anos

11.1.2 Situação 2

Utilizando como referencia a cidade de Pelotas (31,772° S, 52,342° O) – Rio Grande do Sul

Sistema Eólico

Entradas

Velocidade média do vento: 7 m/s

Altura da medida: 50 m

Altura da instalação: 20 m

Tipo de Terreno: Terreno cultivado

Demanda Média 891 W

Sistema Solar

Intensidade solar média: 4,58 (kWh/m².dia)

Consumo Água Quente por dia: 1080 Litros

Temperatura Desejada: 40°C

Temperatura Ambiente: 30°C

Quantidade de Placas 2

Biodiesel

Matéria Prima: Pinhão Manso

Massa de Matéria Prima: 100 kg

Rota: Metílica

Volume Total 433 L

Gerador Estacionário

Preço Diesel (R\$/Litro) 1,94

Baterias

Rede Elétrica Convencional

Valor da tarifa publicada pela ANEEL (R\$/kWh) 0,28099

ICMS (%) 12

PIS (%) 1,53

COFINS (%) 7,11

"Valor a ser cobrado do consumidor (R\$/kWh)" 0,35407006

Contribuição de Iluminação Pública (CIP) 3,5

Saídas

Velocidade útil: 5,88 m/s

Potência Gerada Aprox.: 4851,90 W

Modelo FD12-20k-40

Quantidade 1

Preço R\$ 12.000,00

Sistema Solar

Aquecedor Solar: Soletrol Max Alumínio Vertical

Área da Placa Solar: 1,58 m²

Eficiência da Placa Solar: 0,597

Energia Média Gerada 5,47 kWh/m².dia

Volume de Água Aquecida 235,49 L

Total de Placas 5

Preço R\$ 4.000,00

Capacidade do reservatório 1000

Reservatório Térmico horizontal alta pressão

Preço R\$ 4.250,00

Célula Fotovoltaica: KC130TM

Marca: Kyocera

Potência: 422,8589 W

Potencia Gerada: 845,7178 W

Preço: R\$ 3.120,00

Controlador

SS Morningstar

Preço: R\$ 480,00

Biodiesel

Volume de Biodiesel 50,59 L

Escolha do Equipamento kW

Energia Consumida no processo 5457,4 kW

Capacidade por batelada 550

Preço R\$ 13.200,00

Gerador Estacionário

Marca: Pramac

Modelo: BL 6500 ES

Potencia Nominal: 5,6 kVA

Consumo: 1,00 L/h

Preço: R\$ 2.826,00

Bateria

Modelo 12MF220

Marca Moura

Capacidade 220 Ah

Quantidade 4

Preço R\$ 4.628,00

Rede Elétrica Convencional

Total a pagar pela energia elétrica por mês: R\$ 322,46

Custo Total e Tempo de Retorno

Custo total da Instalação: R\$ 40.504,00

Tempo de Retorno: 10,47 Anos

12 CONCLUSÕES

O desenvolvimento do programa permitiu o dimensionamento dos equipamentos de acordo com o interesse do usuário e facilitou a análise e a comparação, pois é possível muito rapidamente mudar os parâmetros do programa.

Para todos os casos analisados observou-se um tempo muito grande de retorno do investimento, o que de certa forma era esperado devido aos altos custos dos equipamentos. A tendência de barateamento dessas tecnologias aos poucos deve diminuir o tempo de retorno consideravelmente. Deve-se chamar a atenção também para o fato que este trabalho desconsiderou os custos com manutenção e mão-de-obra.

Pelo programa, de acordo com as características é possível priorizar a geração de energia através do sistema eólico, através das placas fotovoltaicas ou de ambos. Para efeito de dimensionamento o sistema eólico e o sistema de placas fotovoltaicas são complementares e deles provem a carga para suprir o consumo médio. Para o caso do aumento do consumo será necessário o acionamento do gerador estacionário.

Para os equipamentos considerados para a produção de biodiesel neste trabalho não é possível sua alimentação através da energia remanescente dos sistemas eólico e fotovoltaicos devido à grande demanda de carga dos equipamentos. No entanto existem equipamentos mais simples que devem ser considerados em futuras análises. Esses equipamentos de produção de biodiesel devem ser alimentados pela energia do gerador estacionário principalmente. Podemos observar que a produção de biodiesel é muito maior que o consumo no gerador, o que permite que tenhamos uma produção suficiente para demanda particular e para a comercialização.

Podemos concluir que o presente trabalho permitiu estudar a viabilidade técnica e econômica dos sistemas alternativos para geração de energia e o programa mostrou uma poderosa ferramenta comparativa ao conseguir tratar um número muito grande de variáveis que o dimensionamento desses sistemas envolve.

NORTE
POTENCIAL EÓLICO

5.00 m/s
5.50 m/s
6.00 m/s
6.50 m/s

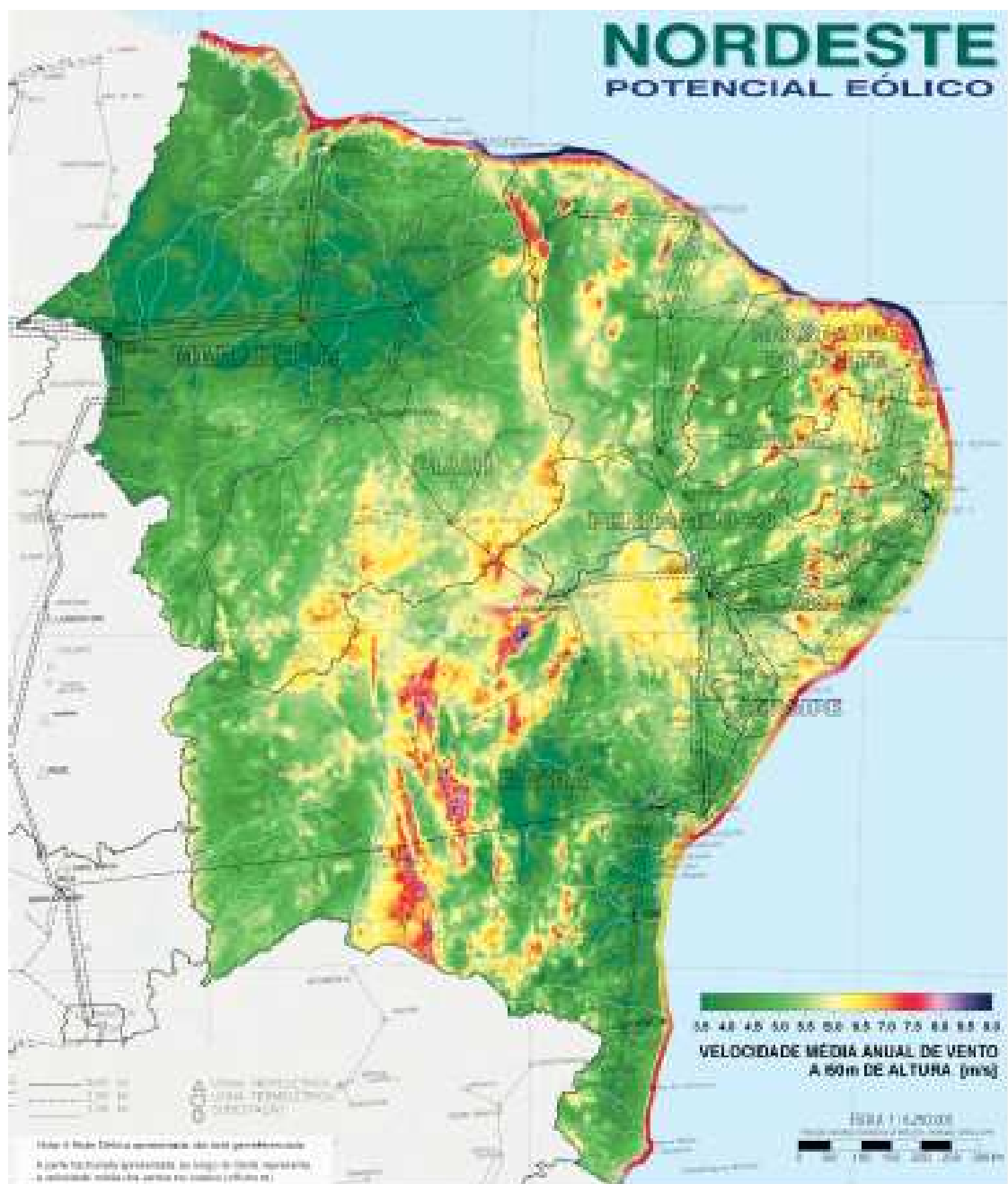
LEGENDA: NÚMERO: NÚMERO DE VELOCIDADES
SÍMBOLO: SÍMBOLO DE VELOCIDADES

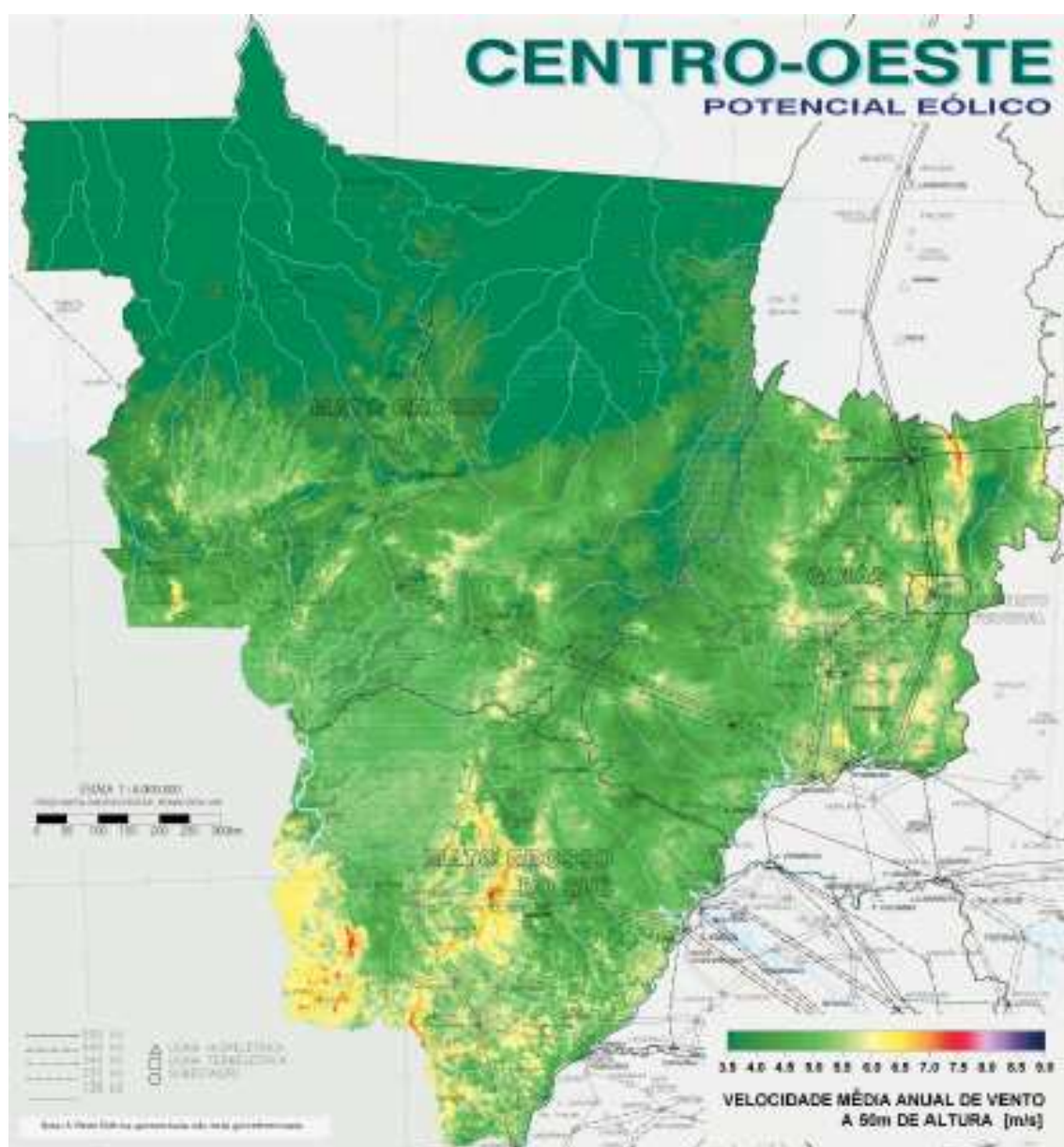
ESCALA 1:10.000.000

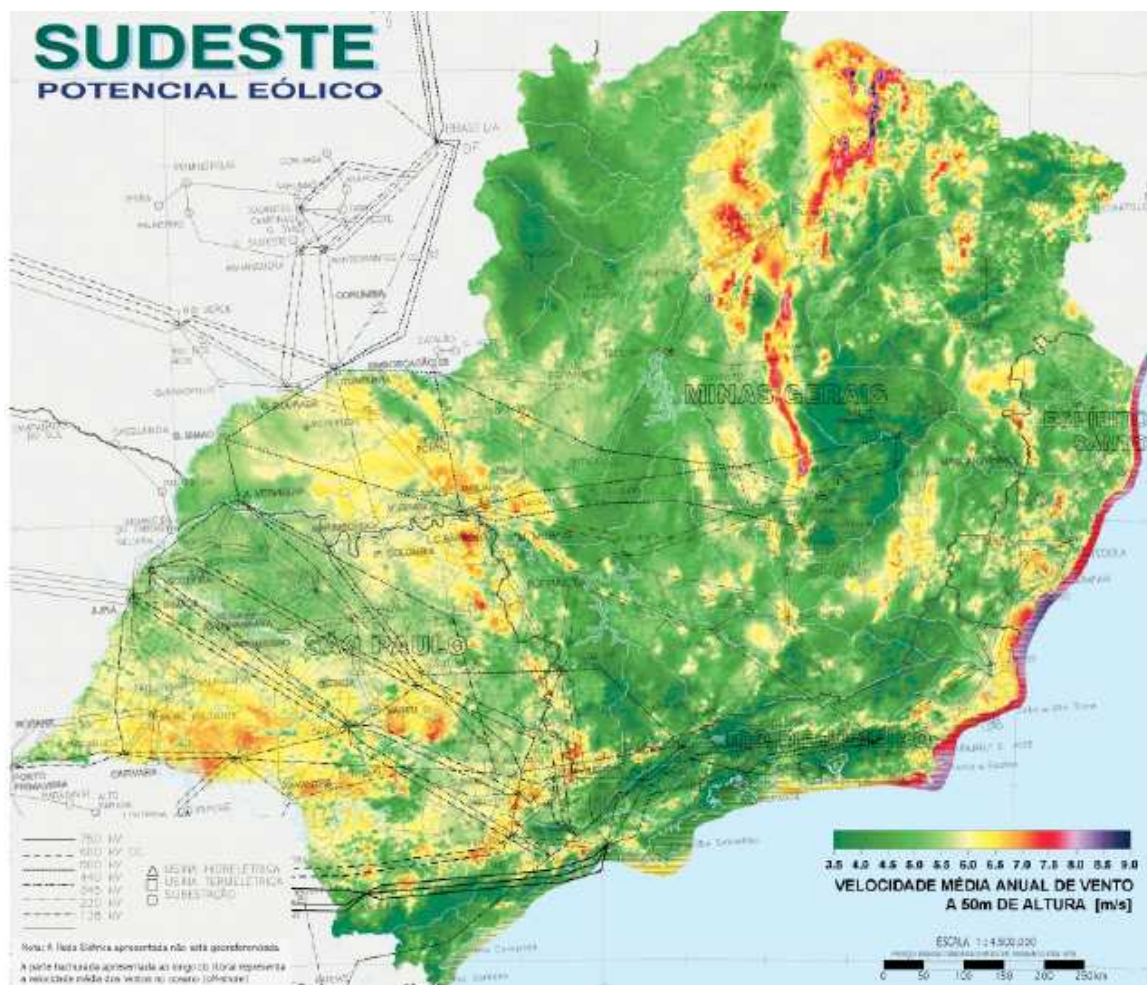
0 100 200 300 400 500 km

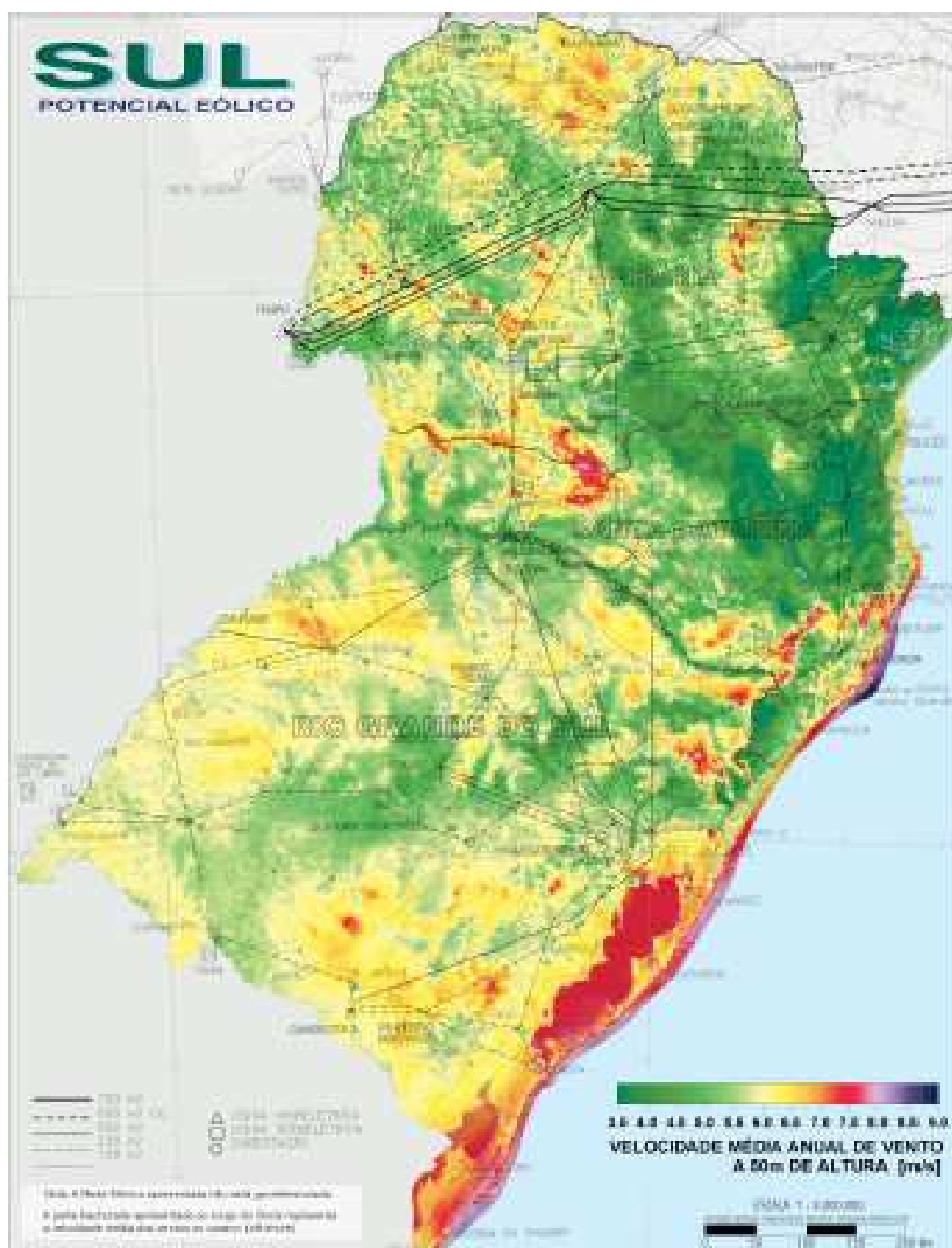
3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0

VELOCIDADE MÉDIA ANUAL DE VENTO
A 50m DE ALTURA (m/s)









ANEXO B – Código de programação

```
Public Function BuscaRugosidade(i, j)
BuscaRugosidade = Plan10.Cells(i, j)
End Function
```

```
Public Function BuscaAquecedor(i, j)
BuscaAquecedor = Plan3.Cells(i, j)
End Function
```

```
Public Function BuscaMatBio(i, j)
BuscaMatBio = Plan11.Cells(i, j)
End Function
```

```
Public Function BuscaRota(i, j)
BuscaRota = Plan13.Cells(i, j)
End Function
```

```
Public Function BuscaEquipBio(i, j)
BuscaEquipBio = Plan12.Cells(i, j)
End Function
```

```
Public Function BuscaReservatório(i, j)
BuscaReservatório = Plan4.Cells(i, j)
End Function
```

```
Public Function BuscaVoltaica(i, j)
BuscaVoltaica = Plan6.Cells(i, j)
End Function
```

```
Public Function BuscaBateria(i, j)
BuscaBateria = Plan8.Cells(i, j)
End Function
```

```
Public Function ConsumoAguaAquecida(Potencia, tempo, Consumo)
```

```
    If Potencia > 0 Then
```

```
        ConsumoAguaAquecida = tempo * 60 * Consumo
```

```
    Else
```

```
        ConsumoAguaAquecida = 0
```

```
    End If
```

```
End Function
```

```
Public Function ConsumoAguaNormal(Potencia, tempo, Consumo)
```

```
    If Potencia = 0 Then
```

```
        ConsumoAguaNormal = tempo * 60 * Consumo
```

```
    Else
```

```
        ConsumoAguaNormal = 0
```

```
    End If
```

```
End Function
```

```
Sub SelecaoEolicaPotência()
```

```
'Escolhe o gerador que fornece a maior potência para a faixa de velocidade
```

```
    Dim Vvento, Vinf, Vsup, Pinf, Psup, Pmax As Double
```

```
    Dim i, iopcao, j1, j2 As Integer
```

```
    Pmax = 0
```

```
    Vvento = Plan1.Cells(5, 6)
```

```
    i = 1
```

```
    j1 = Plan1.Cells(6, 9)
```

```
    j1 = j1 + 11
```

```
    j2 = j1 + 1
```

```

Vinf = Plan5.Cells(i, j1)
Vsup = Plan5.Cells(i, j2)
For i = 2 To 10
    Pinf = Plan5.Cells(i, j1)
    Psup = Plan5.Cells(i, j2)
'Interpolação 3 pontos
    Pint = (((Vsup - Vvento) * Pinf) + ((Vvento - Vinf) * Psup)) / (Vsup - Vinf)

    If Pmax < Pint Then
        Pmax = Pint
        iopcao = i
    Else
        Pmax = Pmax
    End If
Next i

Range("F6").Select
ActiveCell.Value = Pmax
Range("F7") = Plan5.Cells(iopcao, 1)
'Range("F8") = Plan5.Cells(iopcao, 2)
Range("F9") = Plan5.Cells(iopcao, 3)
Range("F10") = (Plan5.Cells(iopcao, 3) / Pmax)
Range("F11") = Plan5.Cells(iopcao, 10)
End Sub
Sub SelecaoEolicaCusto()
'Escolhe Gerador Pelo valor independente da Potência Gerada

Dim Vvento, Vinf, Vsup, Pinf, Psup, Pmax, customenor, custo As Double
Dim i, iopcao, j1, j2 As Integer
Pmax = 0
customenor = 1000000000

```

```

Vvento = Plan1.Cells(5, 6)
i = 1
j1 = Plan1.Cells(6, 9)
j1 = j1 + 11
j2 = j1 + 1
Vinf = Plan5.Cells(i, j1)
Vsup = Plan5.Cells(i, j2)
For i = 2 To 5
    custo = Plan5.Cells(i, 3)
    If customenor > custo Then

        Pinf = Plan5.Cells(i, j1)
        Psup = Plan5.Cells(i, j2)
        'Interpolação 3 pontos
        Pint = (((Vsup - Vvento) * Pinf) + ((Vvento - Vinf) * Psup)) / (Vsup - Vinf)
        Pmax = Pint
        customenor = custo
        iopcao = i
    Else
        customenor = customenor
        Pmax = Pmax
    End If
Next i

Range("F6") = Pmax 'Potencia Gerada
Range("F7") = Plan5.Cells(iopcao, 1) 'Modelo
'Range("F8") = Plan5.Cells(iopcao, 2) 'Fabricante
Range("F9") = customenor 'Custo
Range("F10") = (Plan5.Cells(iopcao, 3) / Pmax)
Range("F11") = Plan5.Cells(iopcao, 10)

```

End Sub

Sub SelecaoEolicaCustoBeneficio()

'Escolhe de acordo com o custo beneficio dado por potencia/custo

Dim Vvento, Vinf, Vsup, Pinf, Psup, Pmax, CB, CBMenor, custo As Double

Dim i, iopcao, j1, j2 As Integer

Pmax = 0

CBMenor = 10000000000

Vvento = Plan1.Cells(5, 6)

i = 1

j1 = Plan1.Cells(6, 9)

j1 = j1 + 11

j2 = j1 + 1

Vinf = Plan5.Cells(i, j1)

Vsup = Plan5.Cells(i, j2)

For i = 2 To 5

 custo = Plan5.Cells(i, 3)

 Pinf = Plan5.Cells(i, j1)

 Psup = Plan5.Cells(i, j2)

 'Interpolação 3 pontos

 Pint = (((Vsup - Vvento) * Pinf) + ((Vvento - Vinf) * Psup)) / (Vsup - Vinf)

 CB = custo / Pint

 If CBMenor > CB Then

 Pmax = Pint

 customenor = CustoBeneficio

 iopcao = i

 Else

 customenor = customenor

```

        Pmax = Pmax
    End If
Next i

Range("F6") = Pmax 'Potencia Gerada
Range("F7") = Plan5.Cells(iopcao, 1) 'Modelo
Range("F8") = Plan5.Cells(iopcao, 2) 'Fabricante
Range("F9") = Plan5.Cells(iopcao, 3) 'Custo
Range("F10") = (Plan5.Cells(iopcao, 3) / Pmax)
Range("F11") = Plan5.Cells(iopcao, 10)

End Sub

Sub PlacaSolarAproveitamento()

    Dim eficiencia, efi As Double
    Dim i As Integer

    eficiencia = 0

    For i = 2 To 7
        efi = Plan3.Cells(i, 4)

        If eficiencia < efi Then
            eficiencia = efi
            iescolha = i
        Else
            eficiencia = eficiencia
        End If
    Next i
    Range("I15") = iescolha

```

```
Consumo = Plan1.Cells(17, 2)
```

```
End Sub
```

```
Sub PlacaSolarCusto()
```

```
Dim menorcusto, custo As Double
```

```
Dim i, iescolha As Integer
```

```
iescolha = 0
```

```
menorcusto = 10000000
```

```
For i = 2 To 7
```

```
custo = Plan3.Cells(i, 3)
```

```
If menorcusto > custo Then
```

```
menorcusto = custo
```

```
iescolha = i
```

```
Else
```

```
menorcusto = menorcusto
```

```
End If
```

```
Next i
```

```
Range("I15") = iescolha
```

```
End Sub
```

```
Sub PlacaSolarCB()
```

```
Dim CB, CBi, custo, eficiencia, area As Double
```

```
Dim i, iescolha As Integer
```

CB = 0

For i = 2 To 7

 custo = Plan3.Cells(i, 3)

 eficiencia = Plan3.Cells(i, 4)

 area = Plan3.Cells(i, 2)

 CBi = (area * eficiencia / custo) * 1000

 If CB < CBi Then

 CB = CBi

 iescolha = i

 Else

 CB = CB

 End If

Next i

 Range("I15") = iescolha

End Sub

Sub VoltaicaEficiência()

 Dim intensidadesolar, Pot, Potmax As Double

 Dim i, iescolha As Integer

 Pot = 0

 Potmax = 0

 intensidadesolar = (Plan1.Cells(16, 2)) * 1000

 For i = 3 To 7

```

a = Plan6.Cells(i, 9)
b = Plan6.Cells(i, 10)
Pot = a * intensidadesolar + b

If Potmax < Pot Then
    Potmax = Pot
    iescolha = i
Else
    Potmax = Potmax
End If
Next i
Range("F32") = Potmax
Range("I29") = iescolha

End Sub

Sub VoltaicaCusto()
    Dim intensidadesolar, Pot, Potescolha, custo, customenor As Double
    Dim i, iescolha As Integer

    customenor = 100000000
    iescolha = 0
    Pot = 0
    Potescolha = 0
    intensidadesolar = (Plan1.Cells(16, 2)) * 1000

    For i = 3 To 7

        custo = Plan6.Cells(i, 3)
        a = Plan6.Cells(i, 9)

```

```
b = Plan6.Cells(i, 10)
Pot = a * intensidadesolar + b
```

```
If customenor > custo Then
    customenor = custo
    Potescolha = Pot
    iescolha = i
Else
    customenor = customenor
    Potescolha = Potescolha
End If
```

```
Next i
Range("F32") = Potescolha
Range("I29") = iescolha
```

```
End Sub
```

```
Sub VoltaicaCB()
```

```
Dim intensidadesolar, Pot, Potescolha, CBescolha, custo, customenor As Double
Dim i, iescolha As Integer
```

```
CBescolha = 0
Pot = 0
intensidadesolar = (Plan1.Cells(16, 2)) * 1000
```

```
For i = 3 To 7
```

```
    custo = Plan6.Cells(i, 3)
    a = Plan6.Cells(i, 9)
```

```

b = Plan6.Cells(i, 10)
Pot = a * intensidadesolar + b
CB = Pot / custo

If CB > CBescolha Then
    CBescolha = CB
    Potescolha = Pot
    iescolha = i
Else
    CBescolha = CBescolha
    Potescolha = Potescolha
End If

Next i

Range("F32") = Potescolha
Range("I29") = iescolha

End Sub

Sub TabelaCurvaCarga()
    Dim h, min, posição, i As Integer
    Dim inicio, fim, Pot As Double
    i = 4
    inicio = 0
    fim = 0

    For h = 0 To 23
        For min = 0 To 59
            posição = (h + (min / 60))
            For j = 4 To 31

```

```

        inicio = (Plan2.Cells(j, 4) + (Plan2.Cells(j, 5) / 60))
        fim = (Plan2.Cells(j, 6) + (Plan2.Cells(j, 7) / 60))
        If posição >= inicio Then
            If posição <= fim Then
                Pot = Pot + (Plan2.Cells(j, 3) * Plan2.Cells(j, 1))
            Else
                Pot = Pot
            End If
        Else
            Pot = Pot
        End If
    Next j
    Plan2.Cells(i, 14) = (h + (min / 60))
    Plan2.Cells(i, 15) = Pot
    i = i + 1
    Pot = 0
Next min
Next h

End Sub

```

```

Sub GeradorPotencia()
    Dim Pot, Potmax As Double
    Dim iescolha As Integer

    Potmax = 0
    iescolha = 0

    For i = 3 To 13
        Pot = Plan7.Cells(i, 4)
        If Potmax < Pot Then

```

```

        Potmax = Pot
        iescolha = i
    Else
        Potmax = Potmax
    End If
Next i

Range("F59") = Plan7.Cells(iescolha, 2) 'Modelo
Range("F60") = Plan7.Cells(iescolha, 1) 'Marca
Range("F61") = Potmax      'Pot Nominal
Range("F62") = Plan7.Cells(iescolha, 12) 'Consumo
Range("F63") = Plan7.Cells(iescolha, 11) 'Preço

End Sub

Sub GeradorConsumo()
    Dim Consumo, ConsumoMin As Double
    Dim i, iescolha As Integer

    ConsumoMin = 10000000
    iescolha = 0

    For i = 3 To 13
        Consumo = Plan7.Cells(i, 12)
        If ConsumoMin > Consumo Then
            ConsumoMin = Consumo
            iescolha = i
        Else
            ConsumoMin = ConsumoMin
        End If
    Next i

```

```

Range("F59") = Plan7.Cells(iescolha, 2) 'Modelo
Range("F60") = Plan7.Cells(iescolha, 1) 'Marca
Range("F61") = Plan7.Cells(iescolha, 4) 'Pot Nominal
Range("F62") = Plan7.Cells(iescolha, 12) 'Consumo
Range("F63") = Plan7.Cells(iescolha, 11) 'Preço

```

End Sub

Sub GeradorPreco()

```

Dim Preco, PrecoMin As Double
Dim i, iescolha As Integer

```

```

PrecoMin = 10000000
iescolha = 0

```

```

For i = 3 To 13
    Preco = Plan7.Cells(i, 11)
    If PrecoMin > Preco Then
        PrecoMin = Preco
        iescolha = i
    Else
        PrecoMin = PrecoMin
    End If
Next i

```

```

Range("F59") = Plan7.Cells(iescolha, 2) 'Modelo
Range("F60") = Plan7.Cells(iescolha, 1) 'Marca
Range("F61") = Plan7.Cells(iescolha, 4) 'Pot Nominal
Range("F62") = Plan7.Cells(iescolha, 12) 'Consumo
Range("F63") = Plan7.Cells(iescolha, 11) 'Preço

```

End Sub

13 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Tabela <http://www.eia.doe.gov/emeu/international/Crude1.xls> disponível no sitio <http://www.eia.doe.gov/emeu/international/prices.html#Crude> contendo informações retiradas do The Wall Street Journal , acesso em 2 de Agosto de 2009.

[2] Agencia Nacional de Energia Elétrica. **Atlas da Energia Elétrica do Brasil, 2ª Edição**, Brasília, ANEEL, 2005

[3] Eletrobras - Sistemas Isolados. Disponível em <<http://www.eletrobras.gov.br/ELB/data/Pages/LUMIS79364694PTBRIE.htm> >. Acesso em 01 de Outubro de 2009.

[4] MINISTÉRIO DE MINIS E ENERGIA. **Balanço Energético Nacional 2004**. Brasília, Brasil. 2005.

[5] TOYODA, DIOGO J; COLETO, WALTER G DE P. **Otimização De Sistemas Alternativos De Geração De Energia Para Uso Residencial**. São Paulo, 2005.

[6] SAHEKI, LAÉRCIO S. **Otimização De Sistemas Alternativos De Geração De Energia Para Aplicação Em Conjunto Residencial**. São Paulo, 2005.

[7] SAKAJIRI, MINORU. **Otimização De Sistemas Alternativos De Geração De Energia Para Aplicação Escola Politécnica**. São Paulo, 2005

[8] HIDAKA, RODRIGO SUSSUMU. **Estudo de viabilidade para racionalização energética do Instituto Criança Cidadã**. São Paulo, 2005

[9] MINISTÉRIO DE MINIS E ENERGIA. **Atlas do potencial eólico brasileiro**. Brasília, Brasil. 2001.

[10] CARVALHO, P. **Geração eólica**. Imprensa Universitária, 2003.

- [11] GOLDING, E. **The generation of electricity by wind power**. John Wiley, 1976.
- [12] CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito). Energia eólica – Princípios e aplicações. Tutorial.
- [13] DANISH WIND INDUSTRY ASSOCIATION. **Wind Power**. Disponível em: <<http://www.windpower.org/en/core.htm>> , acesso em 8 de abril de 2008.
- [14] PATEL M. R. **Wind and Solar Power Systems**. Ed. CRC Press, New York, 1999.
- [15] ALDABÓ, R., **Energia Eólica**, ArtLiber Editora Ltda, São Paulo, 2002
- [16] Comercial Redimax – Orçamento de Energia Solar. Disponível em <<http://www.comercialredimax.com.br/dimensionamento.html>>. Acesso em 05 Junho 09.
- [17] Aquecedor Solar Disponível em < <http://curiofisica.com.br/aquecedor-solar> >. Acesso em 01 de Outubro de 2009.
- [18] SOLETROL AQUECEDORES DE ÁGUA. Disponível em <http://www.soletrol.com.br>. Acesso em 03 de Outubro de 2009
- [19] Universidade de Minho - Células fotovoltaicas. Disponível em <<http://alv.fisica.uminho.pt/simulacoes/efoto/paineis.html>>. Acesso em 01 de Outubro de 2009.
- [20] Solar energy panels power electric and heating systems. Disponível em <<http://solarexpert.com/Shell/>>. Acesso em 01 de Outubro de 2009.

[21] CARTILHA BIODIESEL. SEBRAE, Disponível em:
<http://www.biodiesel.gov.br/docs/Cartilha_Sebrae.pdf>, acesso em 11 de novembro de 2007

[22] NASCIMENTO, U. M.; SILVA, F. C.; BRANDÃO, K. S. R.; LOUZEIRO, H. C.; SOUZA, A. G.; CONCEIÇÃO, M. M., MOURA, K. R. M.. **Montagem e implantação de usina piloto de baixo custo para produção de biodiesel**

[23] SOARES, G.F.W., VIEIRA, L.S.R., NASCIMENTO, V.G., **Operação de um grupo gerador diesel utilizando óleo vegetal bruto como combustível.**

[24] OLIVEIRA, E.V.A (UERJ) ; THOMAZ, D. (UERJ) ; MARIA, L.C.S (UERJ) **Comparação das rotas metílica e etílica para obtenção de biodiesel através da transesterificação do óleo de soja via catálise básica.** Disponível em <<http://www.abq.org.br/cbq/2008/trabalhos/5/5-359-4770.htm>>. Acesso em 01 de Outubro de 2009.

[25] **Energia Solar e Suas Aplicações Sem Segredos.** Disponível em <<http://www.sunlab.com.br/energiasolar.htm>> Acesso em 01 de Outubro de 2009.

[26] **Cartilha sobre Tarifas.** Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=532>>. Acesso em 01 de Outubro de 2009.

[27] **Por dentro da conta de luz da Eletropaulo.** Disponível em <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/cartilha_eletropaulo_2.pdf>. Acesso em 01 de Outubro de 2009.

[28] **Usinas de Biodiesel por Batelada.** Disponível em http://www.kilindas.com.br/prod_24.htm. Acesso em 01 de Outubro de 2009.