


ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Otimização de sistemas alternativos de geração de energia para  
uso residencial

Diogo Jundi Toyoda 3510209  
Walter George de Paula Coletto 3504932

Visto 14/12/2005  
  
Dimitris C. Zachariadis

São Paulo  
2005

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Otimização de sistemas alternativos de geração de energia para  
uso residencial

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

Diogo Jundi Toyoda 3510209  
Walter George de Paula Coletto 3504932

Orientador: Prof. Dr. Demetrio Cornilios Zachariadis

São Paulo  
2005

TF\_05  
T6680

S. 448174/N 763

DEDALUS - Acervo - EPMN



31600011115

### FICHA CATALOGRÁFICA

**Toyoda, Diogo Jundi**

Otimização de sistemas alternativos de geração de energia para uso residencial / D.J. Toyoda, W.G.P. Coletto. -- São Paulo, 2005.

p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1.Fontes alternativas de energia 2.Geração de energia (Uso residencial) I.Coletto, Walter George de Paula II.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica III.t.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	1
2 CENÁRIO ENERGÉTICO BRASILEIRO .....	2
3 ENERGIA SOLAR PARA AQUECIMENTO .....	3
3.1 Perspectiva histórica.....	3
3.2 Conversão de energia solar em calor .....	4
3.3 Coletores solares .....	5
3.3.1 Coletores de placa plana .....	6
3.4 Armazenamento de energia térmica.....	7
3.4.1 Capacidade de armazenamento .....	7
3.5 Projeto e operação .....	8
3.6 Modelos genéricos de aquecedores solares de água .....	9
3.6.1 Sistemas diretos.....	9
3.6.2 Sistemas indiretos .....	11
3.7 Sistemas de aquecimento de água do tipo “termosifão passivo” .....	13
3.8 Equipamentos .....	14
3.8.1 Placas solares .....	14
3.8.1.1 Principais fabricantes .....	14
3.8.1.2 Aquecedor solar compacto 200L .....	15
3.8.1.3 Coletor solar .....	16
3.8.2 Acessórios complementares .....	16
3.9 Dimensionamento .....	17
3.10 Análise econômica .....	18
4 SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	22
4.1 Perspectiva histórica.....	22
4.2 A célula fotovoltaica .....	22
4.3 Módulo e painel de células fotovoltaicas .....	23
4.4 Curvas de corrente e potência por voltagem .....	23
4.5 Projeto do painel .....	25
4.5.1 Intensidade solar .....	25
4.5.2 Ângulo de incidência dos raios solares .....	26

4.5.3	Efeito da temperatura .....	27
4.5.4	Sistema de rastreamento solar .....	28
4.6	Equipamentos .....	29
4.6.1	Painel Fotovoltaico .....	29
4.6.1.1	Principais fabricantes .....	29
4.6.1.2	Modelos de célula e capacidade de potência.....	30
4.6.1.2.1	Shell ST 5.....	31
4.6.1.2.2	Shell SM 50.....	31
4.6.1.2.3	Kyocera KC80.....	33
4.7	Dimensionamento .....	33
4.8	Análise econômica .....	35
5	ENERGIA EÓLICA.....	39
5.1	Perspectiva histórica.....	39
5.2	Vento .....	40
5.2.1	Efeitos globais.....	40
5.2.2	Efeitos locais .....	41
5.3	Disponibilidade de energia.....	41
5.4	Sistema eólico .....	45
5.5	Disponibilidade de recursos .....	46
5.6	Equipamentos .....	47
5.6.1	Turbinas eólicas .....	47
5.6.1.1	AIR-X.....	47
5.6.1.2	Whisper 100 .....	48
5.6.1.3	Whisper 200 .....	48
5.6.1.4	Whisper 500 .....	48
5.6.2	Inversores .....	49
5.6.3	Baterias.....	50
5.7	Dimensionamento .....	51
5.8	Análise econômica .....	54
6	GERADORES ESTACIONÁRIOS .....	58
6.1	Introdução .....	58
6.2	Potência efetiva .....	58

6.3 Alternadores .....	59
6.4 Potência mecânica e elétrica .....	59
6.5 Equipamentos .....	61
6.6 Dimensionamento .....	62
6.7 Análise econômica .....	63
7 PROGRAMA DE AVALIAÇÃO DA MELHOR ALTERNATIVA .....	66
7.1 Entradas.....	66
7.2 Gastos.....	69
7.3 Solar .....	72
7.4 Eólico .....	73
7.5 Fotovoltaico “Foto”.....	75
7.6 Gerador.....	75
7.7 Equipamentos.....	76
7.8 Saídas .....	78
8 RESULTADOS.....	81
8.1 Validação do programa .....	81
8.1.1 Situação 1 .....	81
8.1.2 Situação 2.....	85
8.1.3 Situação 3.....	90
8.2 Viabilidade dos atuais sistemas de geração de energia .....	91
8.2.1 Casa de campo ou praia alimentada por placas fotovoltaicas .....	91
8.2.1.1 Solução por simulação a partir do programa.....	93
8.2.2 Geladeira alimentada por turbina eólica x placa fotovoltaica.....	95
8.3 Comparativo entre sistema eólico e fotovoltaico .....	98
8.4 Comparativo de energia gerada.....	99
9 CONCLUSÕES .....	101
ANEXO A.....	102
ANEXO B.....	107
10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	116

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Capacidade instalada de geração .....	2
Figura 2 - Coletor de placa plana .....	6
Figura 3 – Sistema direto simples .....	10
Figura 4 - Sistema indireto de um tanque .....	12
Figura 5 – Termosifão passivo.....	13
Figura 6 - Aquecedor solar compacto .....	15
Figura 7 - Coletor solar .....	16
Figura 8 - Custo por kWh gerado.....	18
Figura 9 - Tempo de retorno .....	19
Figura 10 - Tempo de retorno modificado – condição 1 .....	20
Figura 11 - Tempo de retorno modificado – condição 2.....	21
Figura 12 – Célula, módulo e painel fotovoltaico.....	23
Figura 13 - Curva I x V .....	24
Figura 14 - Influência da intensidade do Sol .....	25
Figura 15 - Eficiência da fotoconversão .....	26
Figura 16 - Influência do ângulo de incidência do Sol .....	27
Figura 17 - Influência da temperatura.....	28
Figura 18 – Rastreador de dois eixos .....	29
Figura 19 - Painéis solares Shell .....	30
Figura 20 - Curvas características do modelo ST 5 .....	31
Figura 21 - Curvas características do modelo SM 50 .....	31
Figura 22 - Curvas características do modelo KC 80 .....	33
Figura 23 - Curvas de potência – Shell .....	34
Figura 24 - Curvas de potência – Kyocera.....	34
Figura 25 - Custo relativo do kWh gerado.....	36
Figura 26 - Tempo de retorno .....	37
Figura 27 - Tempo de retorno modificado .....	38
Figura 28 – Moinho de vento .....	39
Figura 29 - Direções predominantes do vento .....	40
Figura 30 - Distribuição de Weibull .....	43

Figura 31 - Rosa dos ventos.....	44
Figura 32 - Curva de potência típica de um gerador eólico. ....	45
Figura 33 - Potencial eólico brasileiro .....	46
Figura 34 - Dimensões principais da turbina AIR-X .....	47
Figura 35 - Inversores.....	49
Figura 36 - Baterias .....	50
Figura 37 - Energia gerada por mês pela turbina Whisper 500.....	51
Figura 38 - Curvas de geração.....	52
Figura 39 - Custo relativo do kWh gerado.....	54
Figura 40 - Tempo de retorno do sistema eólico .....	55
Figura 41 - Tempo de retorno modificado - Situação 1 .....	56
Figura 42 - Tempo de retorno modificado - Situação 2 .....	57
Figura 43 - Diagrama de fluxo térmico.....	58
Figura 44 - Rendimento de alternadores .....	60
Figura 45 - Gerador Branco .....	61
Figura 46 - Gerador Toyama.....	61
Figura 47 - Gerador Honda .....	61
Figura 48 - Custo relativo da energia gerada .....	64
Figura 49 - Planilha "Entradas" .....	67
Figura 50 - Planilha "Gastos" - parte 1 .....	69
Figura 51 - Planilha "Gastos" - partes 2 e 3 .....	70
Figura 52 - Planilha "Solar" .....	72
Figura 53 - Planilha "Eólico" .....	74
Figura 54 - Planilha "Foto" .....	75
Figura 55 - Planilha "Gerador" .....	76
Figura 56 - Planilha "Equipamentos" .....	77
Figura 57 - Planilha "Saídas" .....	78
Figura 58 - Tabela de retorno comparativo.....	97
Figura 59 - Comparativo sistemas eólico e fotovoltaico.....	98
Figura 60 - Comparativo de energia gerada.....	99

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Características técnicas de coletores solares.....	16
Tabela 2 - Fator de rugosidade.....	42
Tabela 3 - Inversores .....	50
Tabela 4 - Baterias .....	51
Tabela 5 - Características principais dos geradores .....	62
Tabela 6 - Custo do combustível.....	63
Tabela 7 - Custo por kWh gerado .....	64
Tabela 8 - Saída solar para aquecimento de água situação 1 .....	82
Tabela 9 - Dados de saída planilha “Eólico” para situação 1 .....	83
Tabela 10 - Dados de saída planilha “Foto” para situação 1.....	83
Tabela 11 - Dados da planilha “Saídas” para situação 1.....	85
Tabela 12 - Dados de saída planilha “Solar” para a situação 2.....	86
Tabela 13 - Dados de saída planilha “Eólico” para situação 2 .....	87
Tabela 14 - Dados de saída planilha “Foto” para situação 2.....	87
Tabela 15 - Dados da planilha “Saídas” para situação 2.....	89
Tabela 16 – Demanda para situação 3.....	90
Tabela 17 - Dados da planilha “Gerador” para situação 3 .....	91
Tabela 18 - Saída da situação 1 .....	94
Tabela 19 - Saída da situação 2.....	95

## RESUMO

O tema estudado consiste em propor fontes alternativas de energia para uso residencial, a fim de diminuir a dependência da rede elétrica convencional. Os sistemas propostos (solar para aquecimento de água, fotovoltaico, eólico e gerador estacionário) foram escolhidos devido a fatores como: disponibilidade no mercado, viabilidade técnica para uso residencial, além de serem alternativas amplamente exploradas e que, por isso, vêm se popularizando e tornando-se mais eficientes. Para definir a melhor alternativa para cada situação de uso, foi desenvolvido um programa em *Visual Basic for Applications* para *Microsoft Excel* que, de acordo com as características e disponibilidade de recursos, indica uma fonte ou uma combinação das fontes mais viáveis de geração de energia, ou seja, que dão um retorno do capital investido em menor tempo. Finalmente, os sistemas foram comparados levando em conta diversos fatores, como tempo de retorno do capital investido e energia gerada pelos sistemas.

**ABSTRACT**

This work consists in studying alternative sources of energy for residential use, in order to reduce the dependence of the conventional electric net. The considered systems (solar for water heating, photovoltaic, eolic and generators) had been chosen because of factors as: availability in the market, technical viability for residential use, besides the fact that all them are being widely explored and, therefore, they are popularizing and becoming more efficient. To define the best alternative for each situation of use, a program was developed that, in accordance with the characteristics and availability of resources, indicates one or a combination of the most viable sources of energy generation, or in other words, that which give a return of the capital in less time. Finally, the systems were compared taking in account various factors, as time of return of the capital and amount of energy generated by the systems.

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a maior parte da energia utilizada mundialmente provém de combustíveis fósseis, sendo que somente uma pequena parcela é gerada a partir de fontes renováveis, tais como energia solar, eólica, das marés, geotérmica e biomassa. Dentre as fontes citadas de energia renovável, a solar e a eólica têm experimentado um rápido crescimento nas últimas décadas.

Os custos por kWh gerados por parques eólicos já são competitivos se comparados às tecnologias convencionais de geração de energia. Por esta razão, já existem muitos parques eólicos em funcionamento ao redor do mundo.

Por outro lado, os custos da eletricidade gerada por painéis fotovoltaicos ainda são altos, não podendo competir diretamente com fontes tradicionais de geração de energia elétrica, sendo possível apenas o emprego em regiões onde a rede convencional não está disponível e os custos de uma linha de transmissão tornariam o valor da energia muito elevado.

A preocupação com o meio ambiente, a eminente escassez de petróleo e derivados e, sobretudo a crescente demanda por energia são fatores determinantes para buscas de fontes alternativas de energia.

## 2 CENÁRIO ENERGÉTICO BRASILEIRO

A demanda de energia atualmente no Brasil é suprida em sua maior parte por petróleo. Entretanto, a fonte de energia mais utilizada para a geração de eletricidade advém das usinas hidrelétricas. A figura a seguir representa a evolução da capacidade instalada de geração de energia elétrica no Brasil, indicando os crescentes investimentos realizados na construção de usinas hidrelétricas. Com o “apagão” em 2001, o governo percebeu a necessidade de implementação de sistemas alternativos de energia, tais como usinas termoelétricas e usinas nucleares. Esses setores tiveram um considerável crescimento nesse período, principalmente as usinas termoelétricas, beneficiadas pelo acordo entre Brasil e Bolívia para a importação de gás natural. Além desses, outros setores favorecidos foram os sistemas de energia renovável, impulsionados principalmente pelo alerta global de escassez de petróleo em um futuro próximo. Um dos programas criados pelo governo para incentivar a pesquisa e a implantação de sistemas alternativos de geração de energia foi o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) visando com isso tornar o país menos dependente da hidroeletricidade.

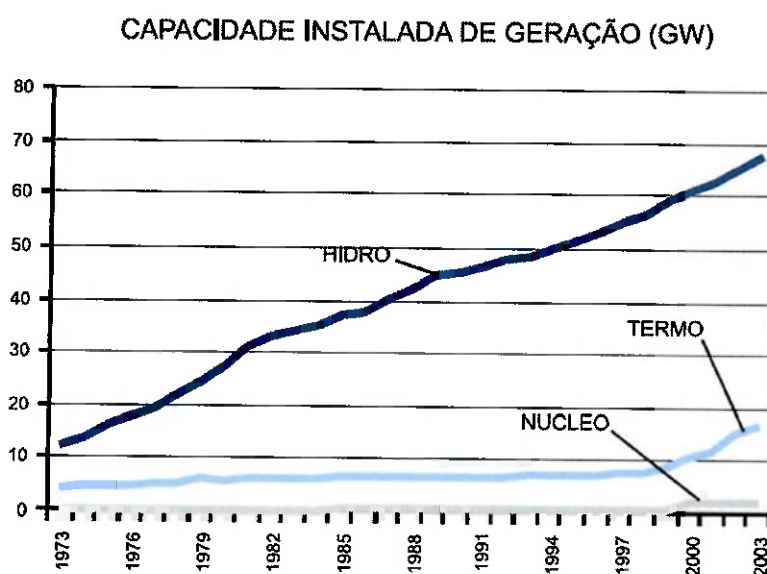


Figura 1 – Capacidade instalada de geração

Fonte: Balanço Energético Nacional 2004 (BEN 2004) [10]

## 3 ENERGIA SOLAR PARA AQUECIMENTO

### 3.1 Perspectiva histórica

A primeira pessoa conhecida a ter usado a energia provinda do sol em larga escala é Archimedes, que incendiou uma esquadra Romana durante um ataque em Siracusa em 212 a.C. “pelo princípio de pequenos espelhos quadrados, refletindo a luz solar e concentrando-a nas velas dos navios”.

Diversos estudos sobre o sol e seu potencial deram início no século XVII, quando Galileu Galilei e Lavoisier utilizaram o sol em suas pesquisas. Por volta de 1700, diamantes foram derretidos com energia solar e no começo de 1800 máquinas de calor estavam sendo operadas com a energia suprida pelo sol. No começo do século XX a energia solar foi usada como fonte de energia em plantas de destilação de água no Chile e em bombas para irrigação no Egito.

Nos anos 20 e 30 usos práticos estavam sendo feitos a partir da energia solar na Califórnia, em aquecedores solares para máquinas de água quente. Descobertas similares para aquecedores de água solares foram também usadas para aquecer edifícios nos Estados Unidos. O primeiro edifício a ser praticamente todo aquecido com equipamentos de conversão de energia solar para aquecimento de água foi construído no MIT (Massachusetts Institute of Technology), em 1938.

A era espacial deu à energia solar seu primeiro impulso pós-guerra. O sucesso das células em módulos de serviço da North American Spacial Agency (NASA) na órbita terrestre e em excursões lunares levou engenheiros a propor outros usos para energia solar do programa espacial. Embora nenhum desses projetos fosse dirigido para prover economicamente conversão de energia solar em larga escala, algumas dessas tecnologias da NASA têm encontrado uso na prática, como projetos aplicados para aquecimento e resfriamento por energia solar nos anos 70.

### 3.2 Conversão de energia solar em calor

Energia solar é transmitida do sol através do espaço para a Terra por meio de radiações eletromagnéticas. Ela deve ser convertida em calor para então poder ser usada em sistemas de aquecimento e resfriamento. Dado que a energia solar é relativamente dispersa quando ela alcança o planeta Terra, um sistema usado para convertê-la em calor em grande escala deve ser relativamente grande. Sistemas de coletores solares, descobertas usadas para converter as radiações solares em calor, usualmente têm uma superfície que absorve eficientemente a radiação e converte esse fluxo incidente em calor, o que eleva a temperatura do material absorvente. Parte dessa energia é então removida da superfície absorvedora pelo princípio da transferência de calor por fluidos, que podem ser líquidos ou gasosos.

Desde 1900 ao menos 50 projetos de coletores solares foram demonstrados como funcionais. Esses projetos são separados em duas classes genéricas: concentradores e não concentradores. Coletores não concentradores ou de placa plana interceptam a radiação solar em uma placa absorvedora de metal ou vidro pela qual calor é transferido e usado em aplicações térmicas.

Coletores concentradores são voltados à redução da perda de calor por meio do uso de uma área absorvedora menor que a área que intercepta os raios solares - a área de abertura. Essa performance de aperfeiçoamento é conseguida refletindo-se os raios solares da grande área de abertura para a pequena área absorvedora com o uso de espelhos côncavos ou outras superfícies refletoras.

Uma vez que a energia solar está disponível somente durante as horas da manhã e da tarde e durante períodos em que o sol não está significativamente coberto pelas nuvens, um meio de se prover aquecimento contínuo dessa fonte intermitente é requerido. Em todas as recentes aplicações, uma forma de armazenamento térmico de energia é usada para esse propósito. Três meios de armazenamento práticos têm mostrado performances aceitáveis. Cama de pedras e água têm sido os dois meios mais usados para armazenamento sensível de calor (armazenamento em material devido a um acréscimo de temperatura). O primeiro é usado com instrumento de conversão solar por ar resfriado; o segundo, com instrumento de líquido resfriado. O terceiro método de armazenamento usa o calor latente dos materiais passando por

uma mudança de fase. Tais materiais podem armazenar mais energia por unidade de volume que outros materiais. Desde que o aquecimento e o resfriamento em edifícios não ocorram em fase com a coleta solar útil (horas do dia em que há claridade), todas as construções com aquecimento solar requerem armazenamento de calor [11].

### 3.3 Coletores solares

Coletores solares são trocadores de calor que usam radiação solar para aquecer um fluido de trabalho, usualmente um líquido ou um gás. Os coletores solares podem ser classificados convencionalmente em três grupos.

O primeiro grupo consiste em coletores de placa plana, os quais não usam concentração óptica da luz solar. Eles são geralmente estacionários e tem capacidade para aquecer o fluido até uma temperatura de aproximadamente 95°C.

O segundo grupo de coletores focais, que apontam diretamente para o sol, utiliza basicamente somente a radiação direta. Eles são capazes de produzir altas temperaturas. Intermediário a esses coletores há um terceiro grupo: os concentradores de foco não definido, os quais não têm um local de foco definido para os raios solares incidentes, sendo capazes de alcançar temperaturas de aproximadamente 175°C. Esses sistemas não requerem rastreamento do sol se seus raios de concentração (raio de abertura da área de absorção) forem menores que 1,7 metros e somente ajustes sazonais para raios acima de 5 metros. Para refrigeração e aquecimento, coletores de placa plana, mostrada na figura a seguir, e coletores sem foco definido estacionário são os mais apropriados.

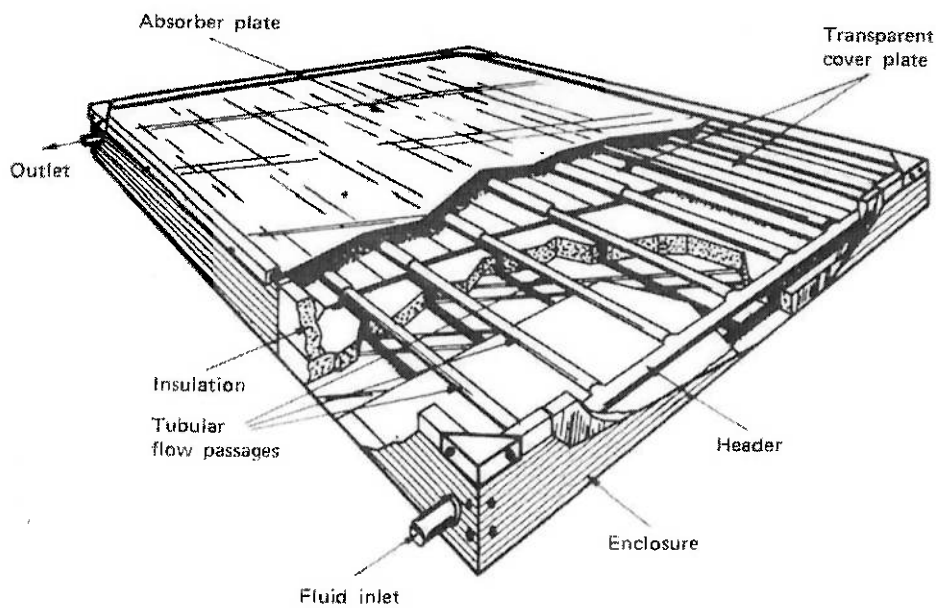


Figura 2 - Coletor de placa plana

Fonte: Wind and Solar Power Systems [2]

### 3.3.1 Coletores de placa plana

Coletores de placa plana são comumente usados para aquecimento de ambientes, piscinas e aquecimento de água doméstico. Um coletor de placa plana típico consiste dos componentes descritos a seguir:

- Placa absorvedora: é usualmente feita em cobre, aço ou plástico. Sua superfície é coberta com uma camada de material escuro de alta absorvância;
- Tubos de escoamento: os tubos de escoamento conduzem o fluido de trabalho através dos coletores. Se o fluido de trabalho é líquido, a passagem do escoamento é geralmente um tubo que está atrelado ou é uma parte integrante da placa absorvedora. Se o fluido de trabalho é gasoso, a passagem de fluido pode estar abaixo da placa absorvedora para minimizar a perda de calor, que é excessiva se o ar aquecido ficar em contato com a placa externa;
- Placa de recobrimento: para reduzir perdas de calor do coletor por convecção e radiação, uma ou duas placas transparentes são geralmente instaladas abaixo das placas absorvedoras. Placas de recobrimento podem ser feitas de vidro ou de lâminas transparentes de plástico;

- Isolamento: material de isolamento tal como fibra de vidro é colocado no fundo e nas laterais dos coletores para reduzir perdas de calor parasitárias;
- Invólucro: o coletor é envolto em uma caixa que mantém seus componentes unidos, protegem do tempo e facilitam a instalação.

### **3.4 Armazenamento de energia térmica**

Sistemas de geração de calor a partir de energia solar também podem prover calor em dias não ensolarados. Em dias ensolarados, um sistema corretamente dimensionado pode ser capaz de coletar mais energia que o necessário, e o excesso de energia pode ser armazenado para uso posterior. Os sistemas de armazenamento mais comuns utilizam camas de rochas ou tanques de água.

A cama de rochas é utilizada em sistemas onde o fluido é gasoso, geralmente ar, enquanto que o tanque de água é utilizado em sistemas em que o fluido de trabalho é a água. Muitas variações a partir desses sistemas são possíveis, mas em todos os sistemas de armazenamento de calor é necessário ter: um material que armazena calor, um compartimento e equipamentos para armazenar ou retirar calor.

#### **3.4.1 Capacidade de armazenamento**

A taxa de variação de temperatura diária de um sistema de armazenamento é função do seu tamanho. Ambos os sistemas com fluido líquido ou gasoso típicos operam diariamente acima de uma variação de temperatura de 35°C em um dia ensolarado de inverno. A variação exata é altamente variável de sistema para sistema, estação para estação e dia para dia. Fatores que influenciam essa variação incluem a disponibilidade de energia solar no dia, a demanda por calor, e o limite de temperatura dos materiais no sistema.

A fim de se minimizar as perdas de calor, o compartimento de armazenamento deve estar localizado o mais próximo possível dos coletores solares. Na prática, esses compartimentos usualmente devem ser alocados em porões, espaços confinados, ambiente aberto sem cobertura e ambiente aberto com cobertura.

### 3.5 Projeto e operação

A demanda de água aquecida por energia solar pode ser calculada precisamente se a quantidade de água quente requerida é conhecida. A quantidade de energia necessária para aquecer a água é dada pelo produto do volume de água, sua densidade, seu calor específico, e o aumento de temperatura requerido. Expressado na forma de equação, a quantidade de calor necessária para aquecer a água é dada por:

$$\begin{cases} Q = V \cdot C \cdot (T - T_{amb}) \\ C = \rho \cdot c \end{cases}$$

Onde  $Q$  é a energia necessária por dia,  $V$  é o volume de água necessário por dia,  $\rho$  é a densidade da água,  $c$  é o calor específico [ $4,18 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ ],  $T_{amb}$  é a temperatura da água nas condições ambiente e  $T$  é a temperatura desejada no tanque de armazenamento.

A temperatura ambiente da água pode variar sazonalmente se a água provém do sistema de abastecimento público.

Uma segunda demanda térmica é requerida devido às perdas de calor no tanque de armazenamento e no sistema de recirculação, caso seja utilizado (o sistema de recirculação é utilizado em construções amplas para garantir que haja água quente continuamente em todos os pontos de saída de água). A perda de calor parasitária pode consumir de 20 a 25% de energia elétrica ou do combustível do sistema auxiliar utilizado em uma residência ao longo do ano. A perda de calor no tanque e no encanamento é dada, de forma simplificada, pela relação:

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

$T_{amb}$  : temperatura ambiente na vizinhança;

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

$U$  : condutância térmica da isolação;

$A$  : área da superfície dos componentes.

Pode ser necessário expressar o lado direito da equação por dois termos, um devido a perdas no tanque e outro devido a perdas nos dutos por recirculação, se suas

temperaturas ambientes  $T_{amb}$  são diferentes. O total de energia requerida em um dia pode ser expresso pela soma das duas equações anteriores.

Antes de se investir em um sistema de energia solar, deve-se pensar em reduzir perdas de calor nos sistemas que usam água quente na residência. Isso é conseguido reduzindo-se  $U$  a um valor prático mínimo por meio de um isolamento apropriado no tanque de armazenamento e nos dutos. Entretanto, deve-se tomar cuidado para não isolar elementos de controle a fim de não superaquecê-los, o que pode resultar em mau funcionamento do aquecedor de água.

Para sistemas de recirculação, a bomba pode ser controlada por um relógio ou por um sensor de temperatura. Relógios são utilizados para operar a bomba durante os períodos conhecidos de uso de água. O sensor de temperatura localizado em um ponto distante do tanque de armazenamento pode desligar a bomba se a temperatura da água for a mesma do valor previamente programado. A linha de retorno da recirculação deve ser bem isolada para reduzir perdas de calor.

### **3.6 Modelos genéricos de aquecedores solares de água**

Um método de classificar aquecedores solares de água divide-os em modelos diretos e indiretos. Sistemas diretos são aqueles no qual água potável é aquecida diretamente no coletor solar. Sistemas indiretos são aqueles no qual água potável é aquecida indiretamente por um outro circuito de água que passa pelo coletor.

#### **3.6.1 Sistemas diretos**

O modelo mais simples de sistema direto é mostrado na figura a seguir. Consiste de um coletor solar, uma bomba de circulação e um tanque combinado de pré-aquecimento além de um sistema auxiliar de aquecimento. No modelo mais simples, água potável do sistema de abastecimento público circula diretamente através dos coletores até o tanque. Conforme água é usada, ela é retirada da parte superior do tanque e água é suprida ao sistema pela parte inferior do tanque. É

importante utilizar esse regime pois a água mais fria é conduzida ao coletor a fim de permitir máxima eficiência do sistema.

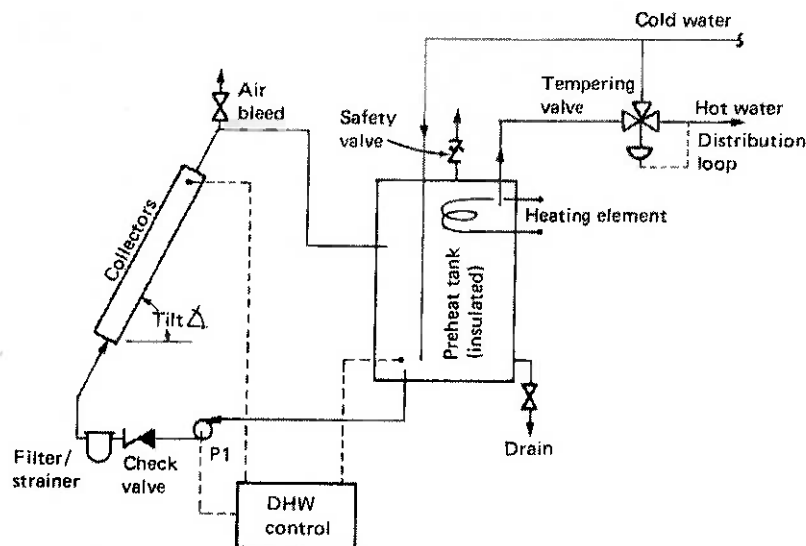


Figura 3 – Sistema direto simples

Fonte: Wind and Solar Power Systems [2]

O pré-aquecedor combinado e o sistema auxiliar de aquecimento fornecem a energia auxiliar requerida para manter a água a uma temperatura desejada nas saídas da residência.

Sistemas diretos têm muitas vantagens sobre sistemas indiretos, que serão descritos no próximo item. Os sistemas diretos têm relativamente poucos componentes, design simples, e teoricamente maior performance térmica devido a ausência de um trocador de calor entre o coletor e o sistema de água. A reduzida complexidade do sistema e o menor número de componentes podem resultar em um custo inicial menor e menor custos de operação e de manutenção durante o período de vida útil do sistema.

Entretanto, sistemas de aquecimento de água diretos têm muitas dificuldades fundamentais que incapacitam seu uso em diversas partes do mundo. A principal dificuldade é a necessidade de proteção contra neve em climas frios. Durante noites frias de inverno quando as temperaturas atingem menos que zero grau por varias horas, a água contida no coletor solar congelará. A expansão da água congelada pode destruir coletores, canos e outros dutos devendo ser evitada. Vários

métodos de proteções contra os congelamentos têm sido usados em sistemas diretos. Em climas relativamente brandos, a bomba antes do coletor deve ficar operando a noite para circular água aquecida do tanque para os coletores para prevenir o congelamento. Entretanto, isso introduz água fria no topo do tanque, o qual irá eventualmente ligar o aquecedor auxiliar consumindo uma energia adicional.

Um segundo método de proteção contra o congelamento é esvaziar os coletores drenando a água para o tanque. A drenagem é usualmente efetivada pela gravidade uma vez que os coletores estão comumente localizados acima do tanque de armazenamento.

Os usos de água potável diretamente nos coletores solares restringem a seleção de materiais próprios para esses coletores a cobre. Se tubos de aço galvanizado ou alumínio são usados, corrosões certamente ocorreriam devido à presença de oxigênio. Além disso, a bomba de circulação deve ser de bronze ou aço inoxidável.

### **3.6.2 Sistemas indiretos**

Sistemas indiretos usam um fluido anti-congelante no circuito do coletor solar para coleta de calor. Calor é então transferido deste fluido para a água potável por meio de um trocador de calor conectado ao tanque de armazenamento. A Figura 4 mostra um sistema indireto de um tanque. Para esses sistemas, os seguintes componentes adicionais são requeridos:

- Trocador de calor do coletor para o tanque de armazenamento;
- Tanque de expansão do circuito do coletor;
- Válvula de segurança do circuito do coletor;
- Bomba do circuito de armazenamento P2;
- Dutos adicionais.

O custo adicional destes componentes é usualmente relevado pelo fato que proteção contra congelamento é garantida sob todas as condições, inclusive falta de energia elétrica.

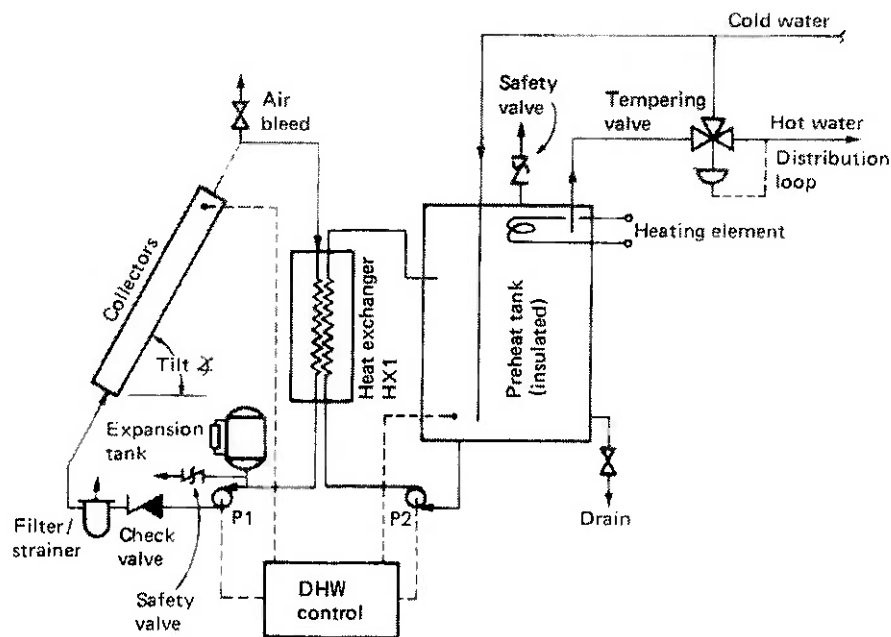


Figura 4 - Sistema indireto de um tanque

Fonte: Wind and Solar Power Systems [2]

A chave do bom desempenho em sistemas indiretos está no trocador de calor do coletor para o tanque de armazenamento. Quando trocadores de calor são subdimensionados, coletores são forçados a operar a temperaturas maiores que a normal. Altas temperaturas nos coletores devem ser evitadas uma vez que a eficiência dos coletores cai com o aumento da temperatura do fluido. Logicamente, trocadores de calor superdimensionados irão ocasionar uma baixa temperatura de operação no coletor, mas o aumento da performance do coletor não pode ser relevado devido ao custo extra de um trocador de calor maior.

Trocadores de calor são requeridos em muitas construções por ter um design de dupla parede. Esta exigência, embora associada a uma performance reduzida, é necessária para prevenir soluções anti-congelantes não potáveis de entrar no sistema de água potável., o que pode ocorrer caso haja corrosão na parede que divide os dois fluidos. Fluidos de trabalho usados para proteção ao congelamento incluem etilenoglicol, que tem significativa toxicidade; em qualquer sistema que contenha etilenoglicol o trocador de calor de parede dupla é obrigatório. Outro fluido utilizado é o propilenoglicol, que é muito menos tóxico, permitindo o uso de trocadores de calor de uma única parede [11].

### 3.7 Sistemas de aquecimento de água do tipo “termosifão passivo”

A Figura 5 representa um diagrama simplificado de um sistema do tipo “termosifão passivo” para aquecimento de água. Sistemas de termosifão são sistemas de aquecimento de água passivos, não necessitando de bombas ou controladores. A força responsável pela circulação do fluido é a resultante da diferença de densidade, causada pelo aquecimento do fluido por energia solar, entre a entrada e a saída do coletor em um intervalo de altura  $L$  conforme mostrado na figura. Essa diferença de densidade depende da quantidade de calor absorvido pelo líquido em sua passagem pelo coletor. O termosifão é o modelo mais antigo utilizado para sistemas de aquecimento de água, tendo sido usado em diversas partes do mundo. Além disso, a performance desse sistema é igual, ou melhor, a dos sistemas diretos e indiretos descritos anteriormente.

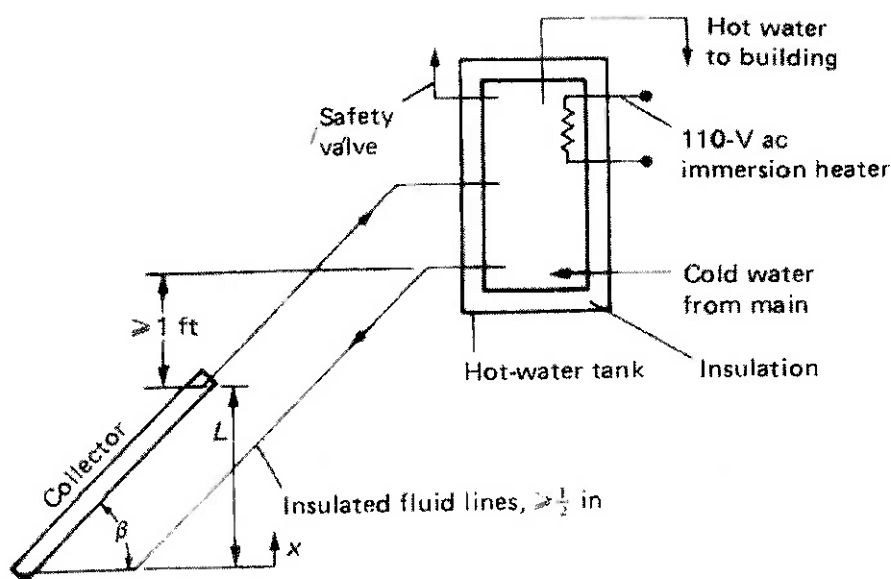


Figura 5 – Termosifão passivo

Fonte: Wind and Solar Power Systems [2]

Sistemas de termosifão são relativamente mais simples de serem modelados e construídos que os sistemas ativos tanto diretos como indiretos. A única exigência para um adequado funcionamento é que tubos de diâmetros relativamente grandes sejam usados, uma vez que a pressão disponível para causar o fluxo de fluido pelos

duto é relativamente pequena. Deve ser utilizado o mínimo de cotovelos possível para unir os tubos sendo que curvas mais suaves são preferíveis a fim de reduzir quedas de pressão. Para prevenir fluxo reverso durante a noite, o coletor pode ser colocado em uma cota inferior a do tanque de armazenamento. Fluxo reverso é completamente eliminado se o topo do coletor está a qualquer ponto abaixo da base do tanque.

Sistemas de termosifão indiretos podem ser utilizados embora eles sejam mais incomuns. A chave para o sistema de termosifão indireto é minimizar a queda de pressão no trocador de calor. Além disso, sistemas de termosifão tendem a ser auto compensadores no sentido de que fluxo reduzido resulta em aumento do tempo de residência do fluido no coletor havendo conseqüente aumento de temperatura e diminuição de densidade, e o aumento e pressão disponível irá causar um fluxo apropriado mesmo que haja uma queda de pressão adicional no trocador de calor. Estudos de modelos em computador indicam que sistemas de termosifão indiretos podem operar com grande eficiência [2].

### **3.8 Equipamentos**

#### **3.8.1 Placas solares**

Realizou-se uma pesquisa para se estudar a disponibilidade dos produtos para sistemas solares no mercado, os acessórios necessários à sua utilização em residências, além de seus modelos e custos de aquisição.

##### **3.8.1.1 Principais fabricantes**

Um dos principais fabricantes nacionais de placas solares para aquecimento de água é a Soletrol. A empresa fabrica equipamentos para atender diferentes necessidades dos consumidores, sendo possível selecionar o melhor equipamento de acordo com a empregabilidade desejada: casa em construção ou já construída, número de pessoas na residência e tempo médio de banho, número de torneiras com água quente, dentre outras opções.

### 3.8.1.2 Aquecedor solar compacto 200L

Abaixo encontra-se um exemplo de aquecedor compacto, próprio para casas já construídas.

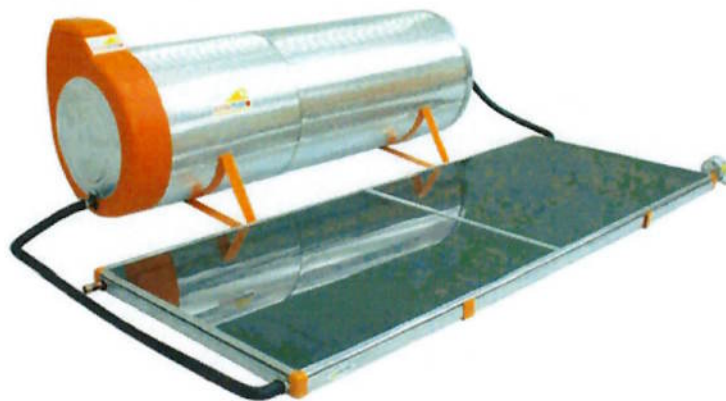


Figura 6 - Aquecedor solar compacto

- Tanque com capacidade de 200 litros;
- Placa de 1,60 m<sup>2</sup>;
- Válvula anticongelamento;
- Sistema complementar elétrico para dias de insuficiência solar V=220V e P=2000W;
- Eficiência energética média: 58,4 %;
- Produção média mensal de energia: 127,4 kWh/mês;
- Garantia de 5 anos.

### 3.8.1.3 Coletor solar

Existem diversos tipos de coletores solares (Figura 7), dos quais apenas os descritos na tabela a seguir serão utilizados para o dimensionamento dos sistemas.



Figura 7 - Coletor solar

Tabela 1 - Características técnicas de coletores solares

Placas solares	Área (m <sup>2</sup> )	Eficiência (%)
Soletrol Max Mini Vertical	1	0,517
Soletrol Max Cobre Vertical	1,45	0,542
Soletrol Max Alumínio Vertical	1,45	0,554
Soletrol Max Alumínio Horizontal/Vertical	1,58	0,597
Soletrol Max Alumínio Horizontal	2	0,538
Soletrol Max Alumínio Vertical	2	0,597

### 3.8.2 Acessórios complementares

Os equipamentos para aquecimento de água podem ser adquiridos já prontos para a instalação, como é o caso dos aquecedores compactos, ou ainda podem ser adquiridos separadamente, sendo para isso necessário adquirir as placas solares em número suficiente para se aquecer a quantidade de água desejada, um reservatório térmico, além de acessórios complementares como válvula anticongelamento,

resistência elétrica para aquecimento de água complementar caso haja insuficiência solar, além de um registro misturador para regular a temperatura desejada da água.

Dessa maneira, para casas onde resida um número maior que 5 pessoas, um único aquecedor compacto não é mais recomendado por não suprir a demanda de água da residência, sendo necessária a montagem de um equipamento específico com um reservatório e uma placa de dimensões maiores, necessitando assim de acessórios complementares como os descritos acima.

### 3.9 Dimensionamento

O dimensionamento do sistema solar é realizado primeiramente calculando-se a quantidade de energia gerada por cada coletor. Esse cálculo é dado em kWh/mês, através da relação:

$$E_g = A_p \cdot I_D \cdot \eta \cdot 30 \text{ dias}, \text{ onde:}$$

$E_g$  : energia média gerada em um mês (kWh/mês);

$A_p$  : área da placa ( $m^2$ );

$I_D$  : incidência solar média diária ( $kW/m^2 \cdot dia$ ), pode ser obtida através do site da CRESESB [5];

$\eta$  : rendimento da placa.

A eficiência da placa nunca atinge 100% pelo fato de a placa, ao ser aquecida, ficar a uma temperatura maior que a do meio externo, perdendo calor para o mesmo, além de nem todo o calor que chega às placas ser transferido à água.

A partir do cálculo da quantidade de energia gerada por mês, pode-se determinar a quantidade de placas necessárias para se aquecer o volume de água desejado. Para esse cálculo, utiliza-se a energia que é gasta mensalmente com aquecimento de água, dividindo-se a mesma pela capacidade de energia que cada placa supre. Após realizar esse cálculo, para se definir o coletor a ser utilizado, leva-se em conta o de menor custo que atenda as necessidades desejadas, e que esteja dentro do valor utilizado no investimento.

O reservatório térmico a ser utilizado é calculado pela quantidade de água quente a ser armazenada diariamente, somando-se os volumes de água utilizados para banho, torneiras de água quente, e banheiras de hidromassagem. A soma desses valores é contabilizada e então se verifica o boiler que pode atender a essa demanda de água, havendo casos em que é necessário utilizar mais de um tanque de armazenamento.

### 3.10 Análise econômica

A partir dos custos dos equipamentos e da geração de energia, é possível traçar o seguinte gráfico de custo relativo por kWh gerado, considerando uma vida útil do equipamento de 20 anos e um reservatório de 500 L.

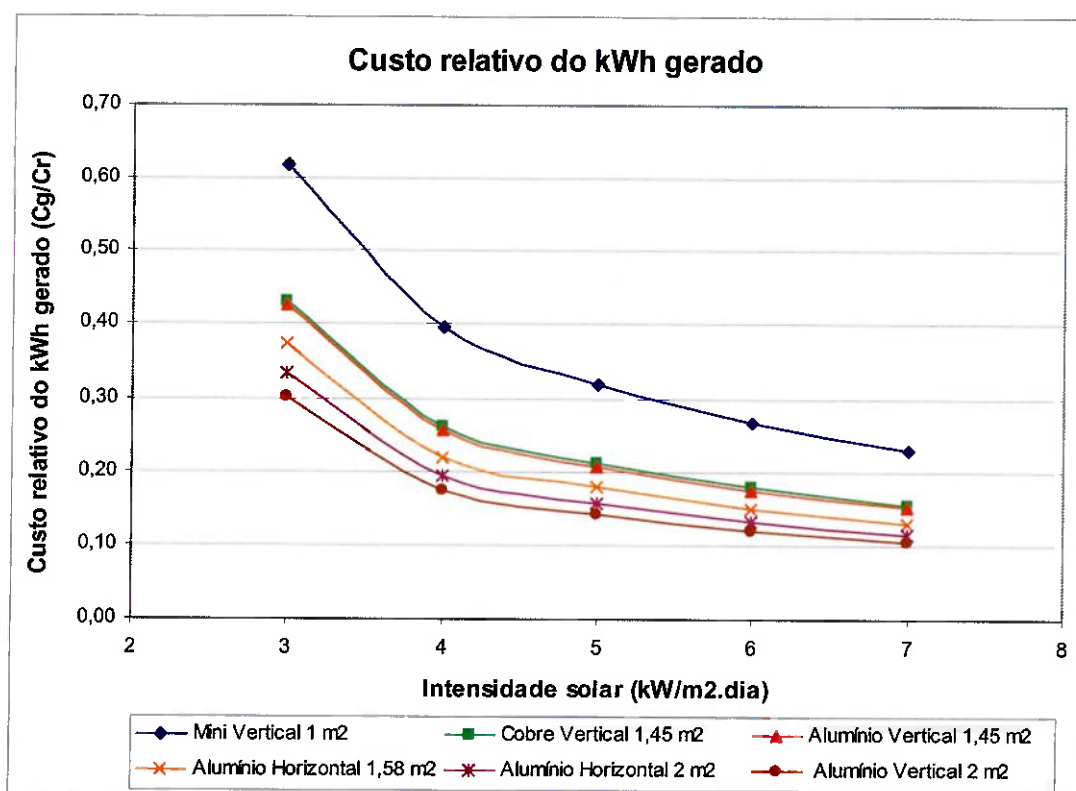


Figura 8 - Custo por kWh gerado

Observa-se que, mesmo para intensidades solares baixas, o custo do kWh gerado é baixo, devido ao baixo custo dos equipamentos e a grande quantidade de

energia gerada. Isto faz com que o retorno do investimento seja rápido, como se pode observar no gráfico a seguir, nas mesmas condições do gráfico anterior.

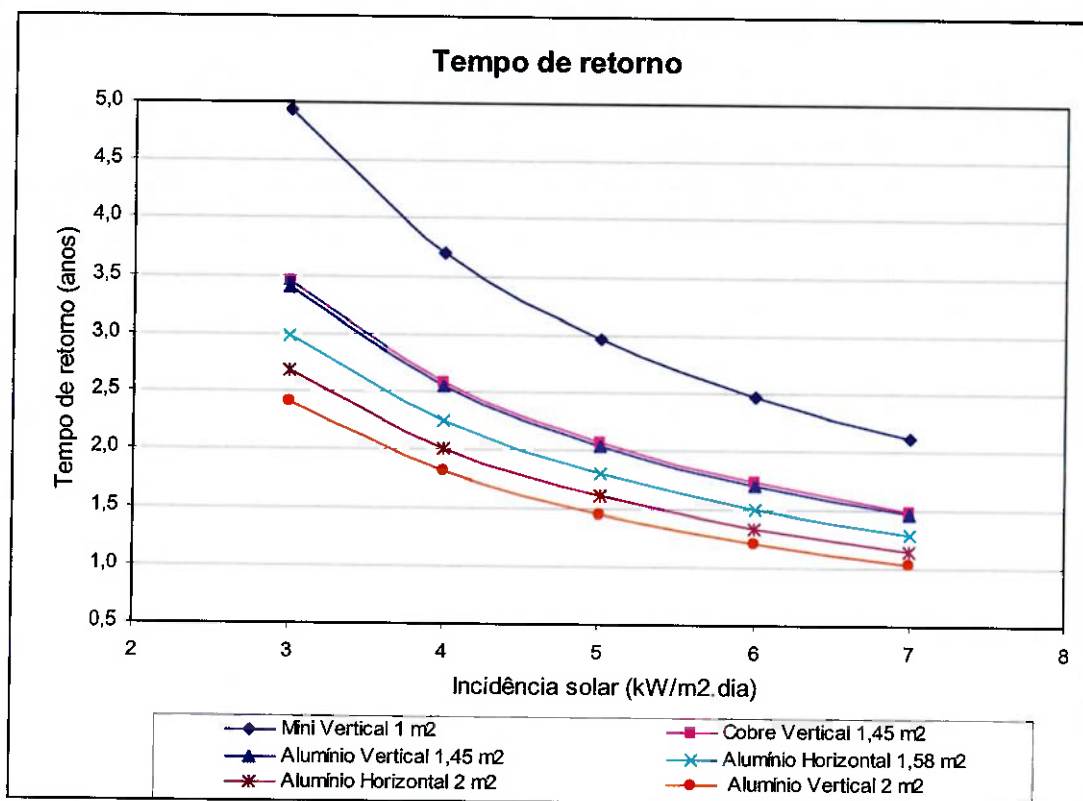


Figura 9 - Tempo de retorno

Este gráfico não leva em conta, no entanto, a proporção da demanda energética que é suprida nem o sistema que precisa de maior investimento inicial.

A fim de poder avaliar o retorno do investimento em conjunto com a demanda suprida e a quantidade de recursos utilizada, foram criados dois fatores, que são:

- Fator de recursos: relação entre os recursos disponíveis e os recursos utilizados, ou seja, este fator diminui o tempo de retorno quanto menos recursos

forem utilizados,  $F_R = \frac{\text{Recursos disponíveis}}{\text{Recursos utilizados}}$ ;

• Fator de energia: relação entre a energia gerada e a energia demandada, ou seja, este fator diminui o tempo de retorno quanto maior a energia gerada pelo sistema,  $F_E = \frac{\text{Energia gerada}}{\text{Energia demandada}}$ .

$$F_E = \frac{\text{Energia gerada}}{\text{Energia demandada}}$$

É possível então traçar o seguinte gráfico, para uma demanda de 300 kWh/mês e recursos disponíveis de R\$ 5.000:

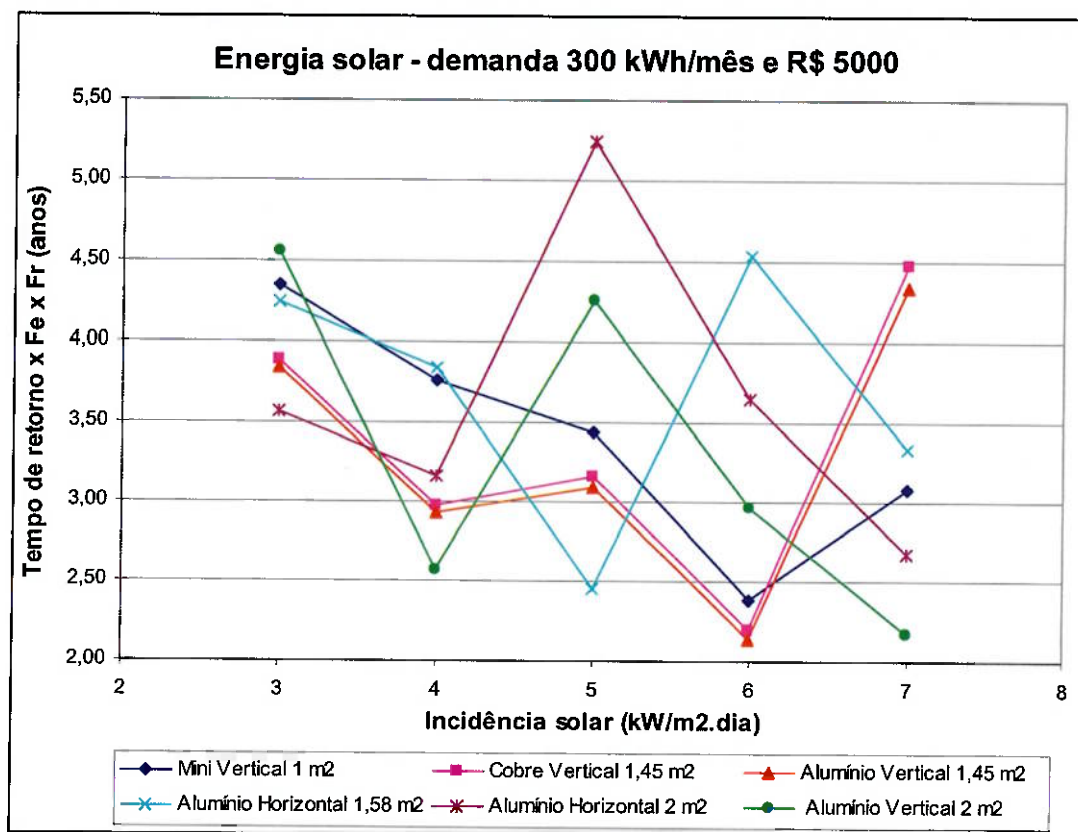


Figura 10 - Tempo de retorno modificado – condição 1

Por este gráfico, é difícil fazer uma análise clara, devido ao fato de que trata-se de domínio discreto e as aproximações fazem grande diferença. Para diminuir o efeito destas aproximações, foi feita uma análise hipotética sobre uma demanda de 1000 kWh/mês e recursos disponíveis de R\$ 12.000, resultando no gráfico a seguir:

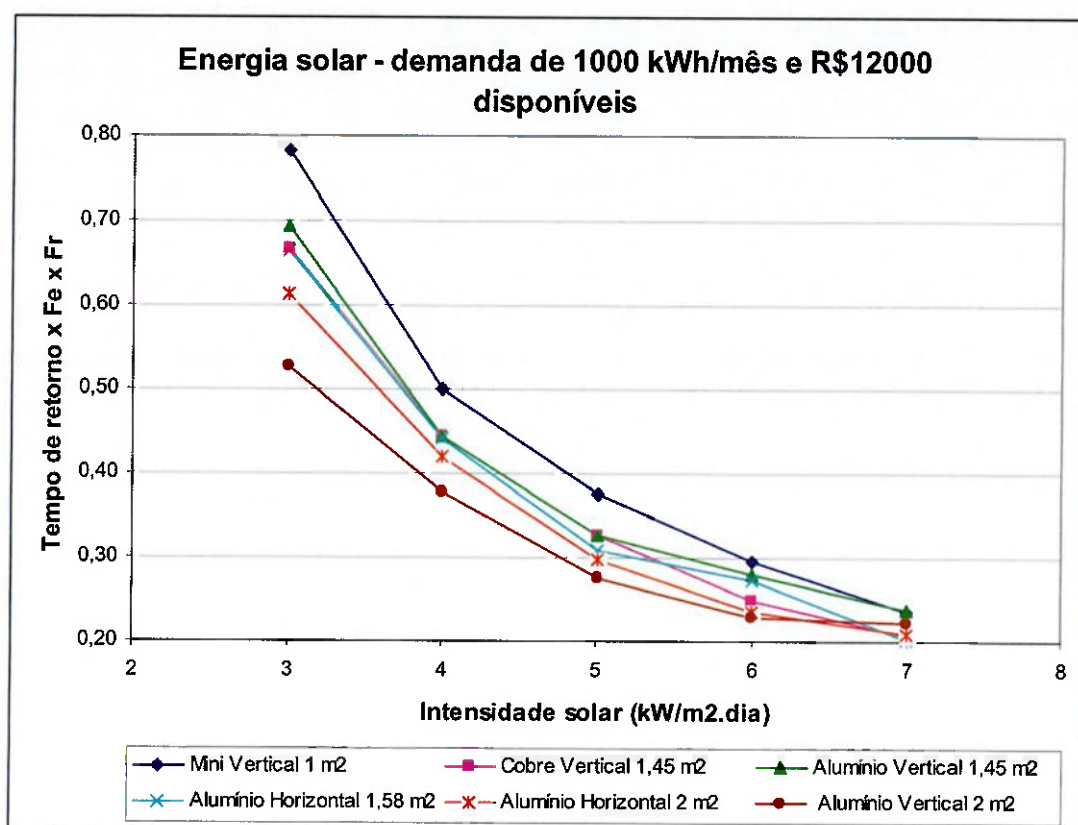


Figura 11 - Tempo de retorno modificado – condição 2

Observa-se então que há um padrão de tempo de retorno, considerando os fatores, ou seja, quanto maior a área da placa e a incidência solar, menor o tempo de retorno. É um resultado esperado, já que o preço da placa por metro quadrado tende a diminuir quanto maior ela for, enquanto a geração de energia é praticamente proporcional por unidade de área.

É importante observar que, embora a unidade da coordenada seja “anos”, os fatores criados a modificam de forma a não ser mais possível analisar quantitativamente o tempo de retorno, valendo somente para efeito comparativo.

## 4 SISTEMA FOTOVOLTAICO

### 4.1 Perspectiva histórica

O efeito fotovoltaico consiste em uma diferença de potencial surgida entre dois elementos não similares quando suas junções comuns são iluminadas com radiação de fótons. A célula fotovoltaica, então, converte luz diretamente em eletricidade. O efeito fotoelétrico foi descoberto em 1839 pelo físico francês Becquerel. A descoberta permaneceu em laboratório até 1954, quando foi produzida a primeira célula solar de sílica, que teve rapidamente aplicação no programa espacial americano por sua alta capacidade de geração de energia por unidade de peso. Desde então a célula fotovoltaica tem sido uma grande fonte de energia para satélites, tendo se mostrado adequada para aplicações espaciais. A célula fotovoltaica tem ganhado campo em aplicações terrestres em locais distantes de redes elétricas ou auxiliando na alimentação de linhas.

### 4.2 A célula fotovoltaica

A física da célula fotovoltaica é muito similar à junção p-n de diodos. Quando luz é absorvida pela junção, a energia dos fótons absorvida é transferida ao sistema elétrico do material, resultando na criação de carga que são separadas em positiva e negativa na junção. A carga pode estar armazenada em pares de íons em um eletrólito líquido ou em um material semicondutor sólido.

A carga armazenada na região da junção cria um gradiente de potencial, sendo acelerada pelo campo elétrico e circulando em forma de corrente através de um circuito externo. O produto do quadrado da corrente e a resistência do circuito é a potência convertida em eletricidade. A energia remanescente do fóton eleva a temperatura da célula.

A origem do potencial fotovoltaico provém da diferença de potencial químico, denominada nível Fermi, dos elétrons nos dois materiais isolados. Quando eles são unidos, a junção aproxima um novo equilíbrio termodinâmico. Tal equilíbrio pode ser alcançado somente quando o nível Fermi é igual em ambos os materiais.

Isso ocorre com o fluxo de elétrons de um material para o outro até que a diferença de potencial estabelecida entre os dois materiais seja nula, ou seja, ambos tenham o mesmo nível de Fermi. É essa diferença de potencial a responsável pela fotocorrente [8].

### 4.3 Módulo e painel de células fotovoltaicas

A célula solar descrita anteriormente é a unidade básica de construção do sistema fotovoltaico. Geralmente, sua área é de alguns centímetros quadrados e sua capacidade é de 1 W de potência. Para obter potências maiores, um grande número de células deve ser conectado em circuitos em série e em paralelo em um módulo de algumas centenas de centímetros quadrado. O painel fotovoltaico é definido por um grupo de módulos conectados eletricamente em combinações série e paralelo para gerar a corrente e voltagem requeridas. A Figura 12 ilustra um modelo de célula, módulo e painel fotovoltaicos.

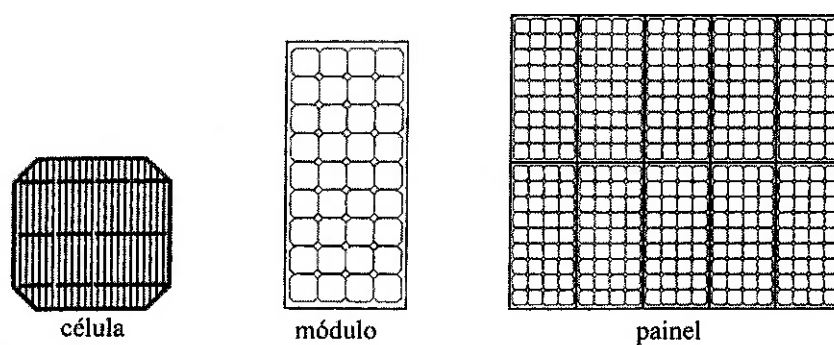


Figura 12 – Célula, módulo e painel fotovoltaico.

Fonte: Solar Energy Handbook [8]

### 4.4 Curvas de corrente e potência por voltagem

A característica elétrica da célula fotovoltaica é geralmente representada pela curva de corrente por voltagem. A Figura 13 mostra a curva  $I \times V$  característica de um módulo em duas condições, à luz solar e no escuro. No primeiro quadrante, o ponto à esquerda na curva a uma voltagem 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 à direita da curva é denominado voltagem de circuito aberto. Essa é a voltagem que pode ser medida com os terminais abertos ( $I = 0$ ). Na região sombreada mais à esquerda, a célula trabalha com corrente constante. Na região sombreada mais à direita, a corrente cai rapidamente com um pequeno aumento de voltagem. Nesta região, a célula trabalha com voltagem constante. Em um determinado lugar entre as duas regiões sombreadas, a curva tem um ponto de pico.

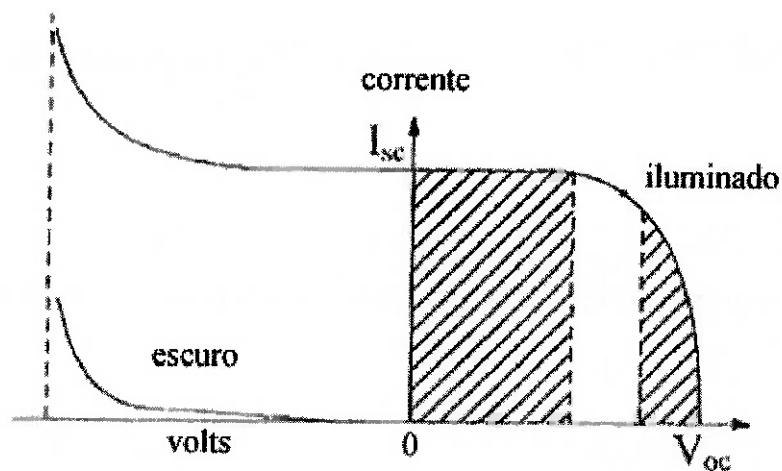


Figura 13 - Curva I x V

Fonte: Solar Energy Handbook [8]

Se a voltagem é externamente aplicada na direção contrária, a corrente permanece constante e energia é absorvida pela célula. Entretanto, abaixo de uma certa voltagem negativa, a junção se rompe como em um diodo, e a corrente salta para um alto valor. Na ausência de luz, a corrente é zero para voltagens acima da voltagem de ruptura que é a mesma que em condições iluminadas.

## 4.5 Projeto do painel

Os principais fatores que influenciam nas características elétricas dos painéis solares são:

- Intensidade solar;
- O ângulo de incidência dos raios solares;
- A influência das cargas na máxima potência;
- A temperatura de operação.

### 4.5.1 Intensidade solar

A magnitude da fotocorrente é máxima para a intensidade máxima de brilho solar. Em um dia parcialmente nublado, a fotocorrente diminui a uma proporção direta à intensidade solar. A curva característica  $I \times V$  diminui de amplitude para menores intensidades de sol.

A Figura 14 mostra a influência da intensidade solar sobre a corrente. Em um dia nublado, portanto, a corrente de curto circuito diminui significativamente. A redução na voltagem de circuito aberto, entretanto, é pequena.

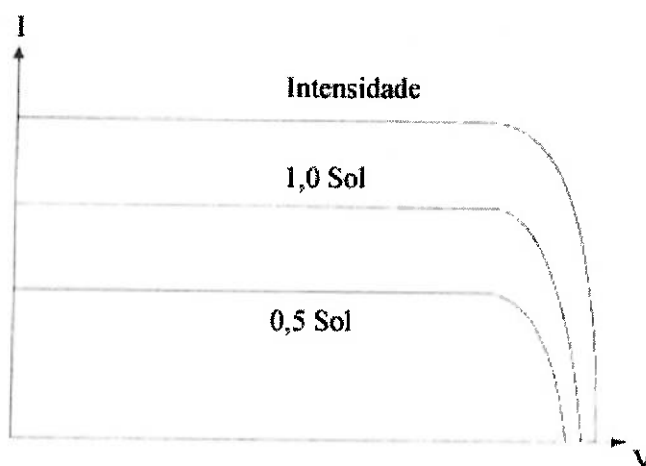


Figura 14 - Influência da intensidade do Sol

Fonte: Solar Energy Handbook [8]

A eficiência de fotoconversão da célula é praticamente insensível à radiação solar.

A Figura 15 mostra que a eficiência é praticamente a mesma para 500 W/m<sup>2</sup> e 1000W/m<sup>2</sup>. Isto significa que a eficiência de conversão é a mesma em um dia ensolarado e em um dia nublado. A perda de energia em da nublado é menor somente devido à baixa energia solar incidente na célula.

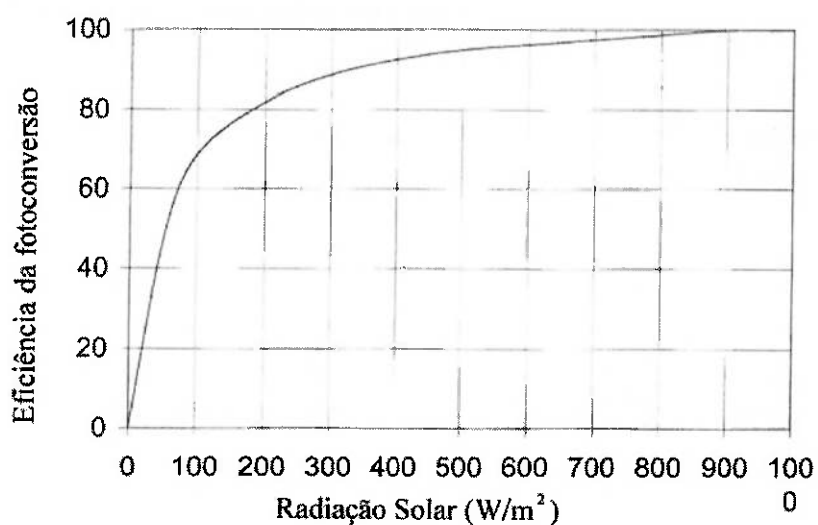


Figura 15 - Eficiência da fotoconversão

Fonte: Solar Energy Handbook [8]

#### 4.5.2 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  $\theta$  é o ângulo da radiação medido a partir da normal. A lei dos cossenos se apresenta adequada para variações 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 resulta em uma capacidade de 7,5% da capacidade máxima de geração.

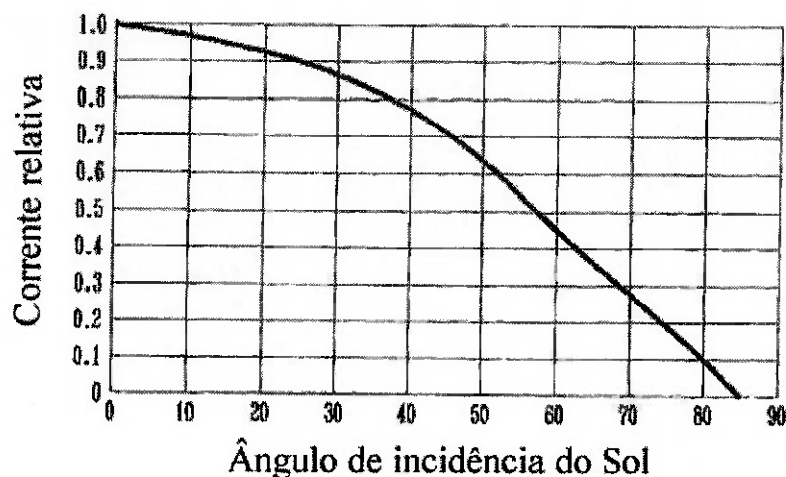


Figura 16 - Influência do ângulo de incidência do Sol

Fonte: Solar Energy Handbook [8]

#### 4.5.3 Efeito da temperatura

O efeito da variação da temperatura na potência de saída é mostrado pela curva potência x tensão características para duas temperaturas de operações, na Figura 17. A figura mostra que a máxima potência disponível a baixas temperaturas é maior que potências a temperaturas maiores. Então, temperaturas frias são geralmente melhores para as células fotovoltaicas, devido ao fato de se gerar maior potência. Entretanto, os dois pontos de potência máxima não estão à mesma tensão. A fim de extrair a máxima potência em todas as temperaturas, os sistemas fotovoltaicos devem ser projetados tal que o módulo da tensão na saída possa aumentar para  $V_2$  para atingir  $P_{max_2}$  a temperaturas mais baixas e possam diminuir para  $V_1$  para atingir  $P_{max_1}$  a temperaturas maiores.

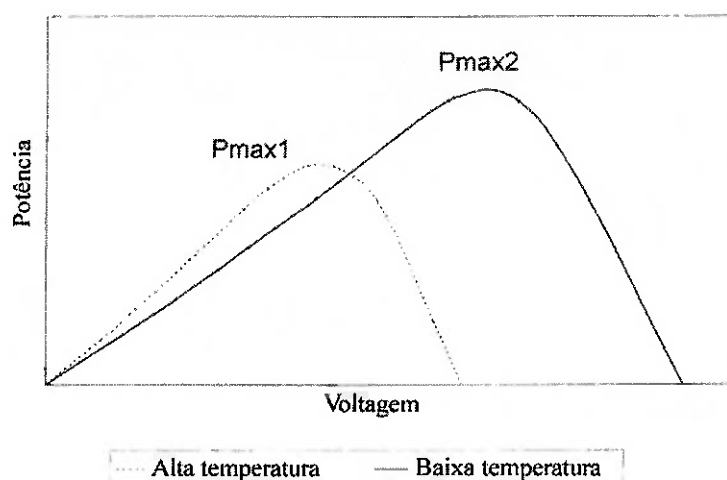


Figura 17 - Influência da temperatura

Fonte: Solar Energy Handbook [8]

#### 4.5.4 Sistema de rastreamento solar

Mais energia é coletada durante o dia 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 durante o dia;
- Rastreador de dois eixos, que segue o sol de leste para oeste durante o dia, e de norte a sul durante as estações do ano (Figura 18).

O projeto de um rastreador deve aumentar a potência acima de 40% em um ano 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. Durante o dia, ele rastreia o sol de leste para oeste. À noite, ele retorna a sua posição original a leste até o sol da próxima manhã. Os antigos rastreadores faziam isso após o pôr do sol utilizando pequenas baterias de níquel-cádmio. Os novos projetos eliminam a necessidade de baterias voltando às suas posições originais com a fraca luz durante a penumbra ou durante a aurora.

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

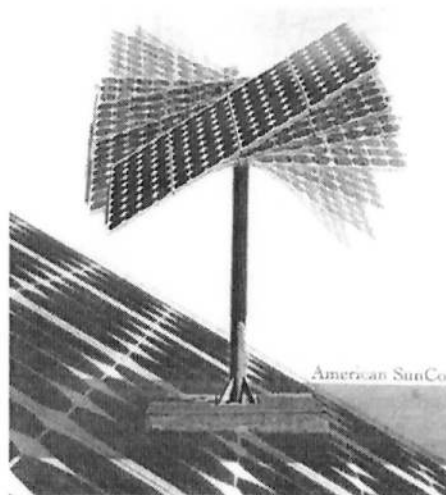


Figura 18 – Rastreador de dois eixos

Fonte: Solar Energy Handbook [8]

## 4.6 Equipamentos

### 4.6.1 Paineis Fotovoltaicos

A fim de se estudar a disponibilidade e viabilidade de aquisição dos painéis fotovoltaicos no mercado, uma pesquisa foi realizada, dando-se ênfase aos fornecedores, acessórios necessários para viabilizar o equipamento em residências (inversores, baterias), requisitos para instalação, além do tempo médio de vida útil dessas placas.

#### 4.6.1.1 Principais fabricantes

Com a realização da pesquisa, verificou-se que existem diversos painéis fotovoltaicos disponíveis no mercado, sendo que dentre os principais fabricantes, e, por conseguinte, as placas mais utilizadas, estão as da marca Siemens, que passou a ser de propriedade da Shell, e as da marca Kyocera.

Cada fabricante, entretanto, produz placas fotovoltaicas com potências e dimensões diferentes das de outros fabricantes, isso porque os processos de fabricação são distintos, acarretando em maior ou menor rendimento (porcentagem de energia solar convertida por efeito fotoelétrico) da placa de cada fabricante.

#### 4.6.1.2 Modelos de célula e capacidade de potência

Como mencionado no item anterior, a capacidade de potência disponível dos painéis fotovoltaicos é variável de acordo com o fabricante.

Os modelos a serem utilizados neste trabalho são os seguintes, sendo alguns ilustrados na Figura 19:

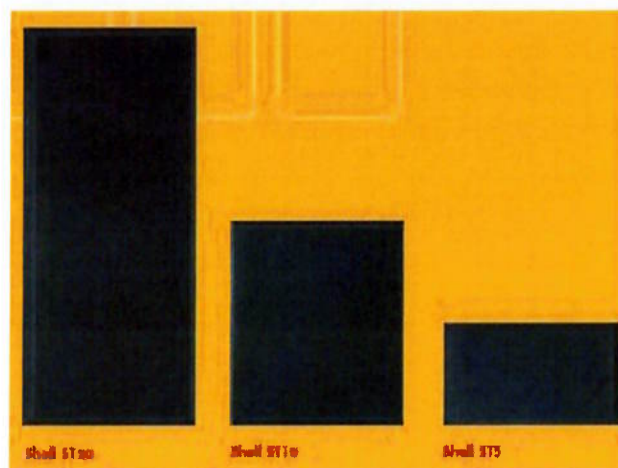


Figura 19 - Painéis solares Shell

- Shell ST5 – 5W;
- Shell ST10 – 10W;
- Shell ST20 – 20W;
- Shell ST40 – 40W;
- Shell SM50 – 50 W;
- Shell SQ80 – 80 W;
- Shell SM110 – 110W.

As características técnicas de alguns desses modelos estão mostrados abaixo:

#### 4.6.1.2.1 Shell ST 5

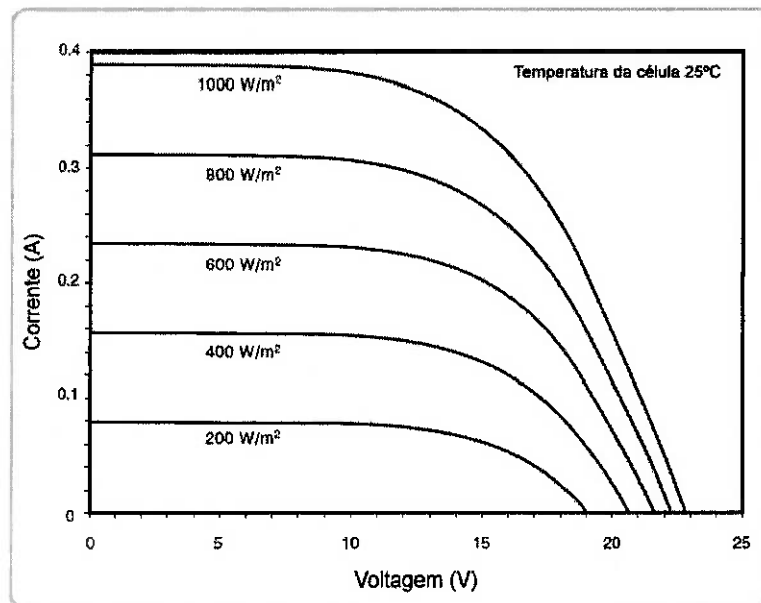


Figura 20 - Curvas características do modelo ST 5

- Potência: 5 W;
- Dimensões: 328 x 206 mm;

#### 4.6.1.2.2 Shell SM 50

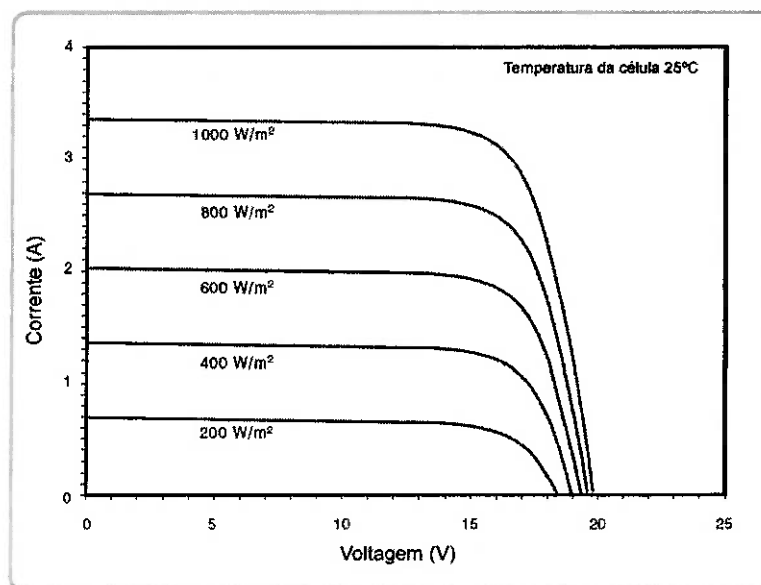


Figura 21 - Curvas características do modelo SM 50

- Potência: 50 W;
- Dimensões: 1220 x 329 mm.

Os modelos da Kyocera utilizados são: KC 35, KC 45, KC 60 e KC 120, em que os números representam a potência de cada modelo.

Abaixo está representado um gráfico com curvas características do modelo KC 80, que possui dimensão 976 x 652 mm.

#### 4.6.1.2.3 Kyocera KC80

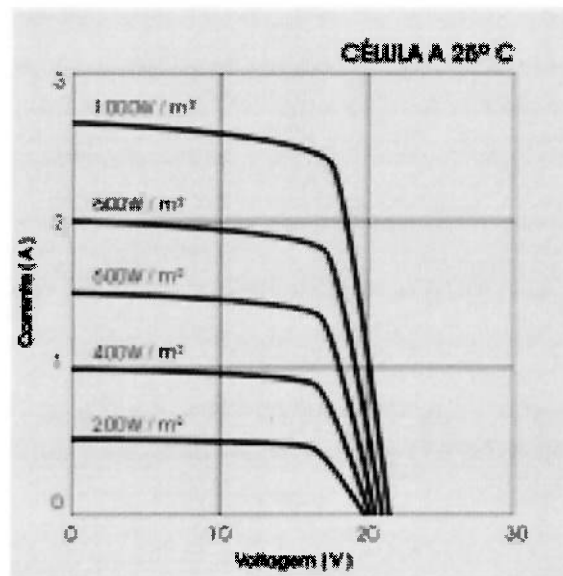


Figura 22 - Curvas características do modelo KC 80

- Máxima potência: 80W;
- Voltagem de máxima potência: 16,9V;
- Corrente de máxima potência: 4,73 A;
- Voltagem de circuito aberto: 21.5 V;
- Corrente de curto circuito: 4,97 A.

#### 4.7 Dimensionamento

A fim de se estabelecer uma relação entre a potência nominal de cada modelo de placa solar em função da intensidade solar, foram construídos os gráficos mostrados abaixo, a partir das curvas características das placas, disponibilizadas pelo fabricante. Para isso, foram lidos nas curvas características de cada placa, a corrente estabelecida para uma voltagem de 12 V, que é a voltagem das baterias utilizadas. É possível então calcular a potência fornecida pela placa relacionada com a incidência solar, resultando nos gráficos a seguir:

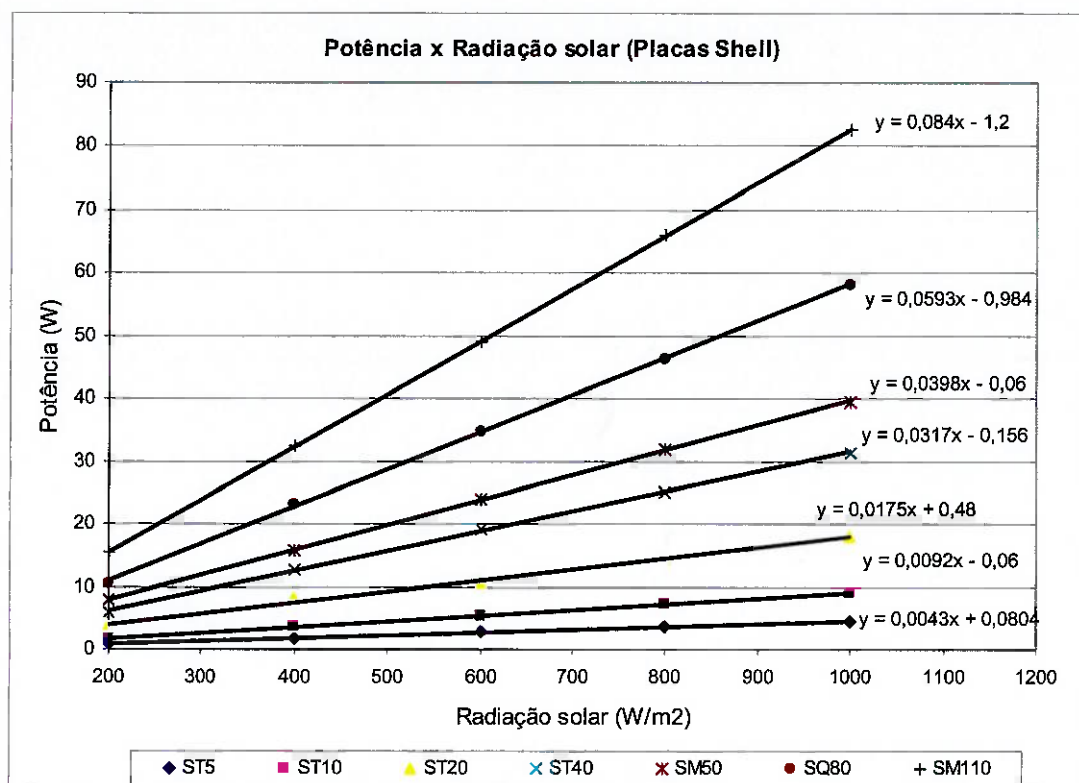


Figura 23 - Curvas de potência – Shell

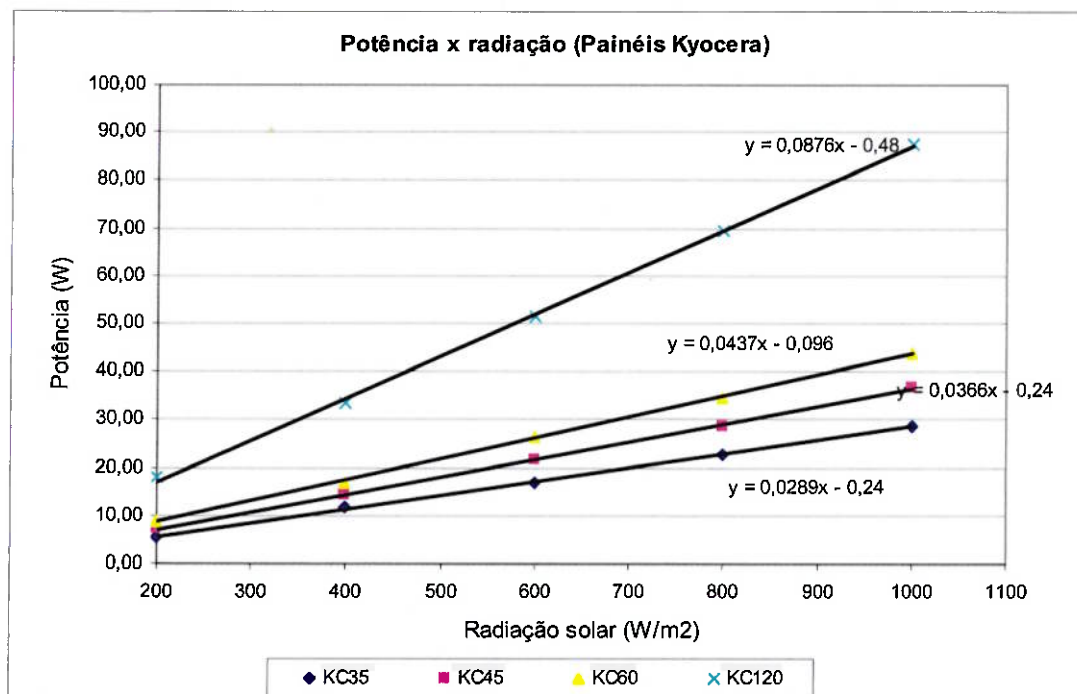


Figura 24 - Curvas de potência – Kyocera

A Figura 23 refere-se a diferentes modelos de placas solares da marca Shell, que variam de 5 W a 110 W. A relação entre radiação solar e potência gerada pode ser aproximada por uma reta, sem perda de confiabilidade, para cada uma das placas, conforme indicado no gráfico.

Dessa maneira, para cada valor de radiação solar é possível saber, por meio desse gráfico, o valor respectivo da potência gerada por cada placa de diferente potência.

A obtenção da potência gerada permite fazer o cálculo da bateria necessária para cada tipo de placa, em função da capacidade em Ah, de cada bateria, uma vez que a voltagem de cada bateria é de 12 V. O mesmo processo é realizado para equipamentos da marca Kyocera (Figura 24). Em função da quantidade de baterias e do número de placas solares, estima-se um custo para a instalação do sistema e, além disso, qual configuração é viável, tendo-se por referência, um período de 30 anos.

#### **4.8 Análise econômica**

A partir dos custos dos equipamentos e da quantidade de energia gerada, é possível estabelecer uma relação entre o custo do kWh gerado em comparação com a energia da rede e a intensidade solar, considerando uma vida útil dos equipamentos de 30 anos.

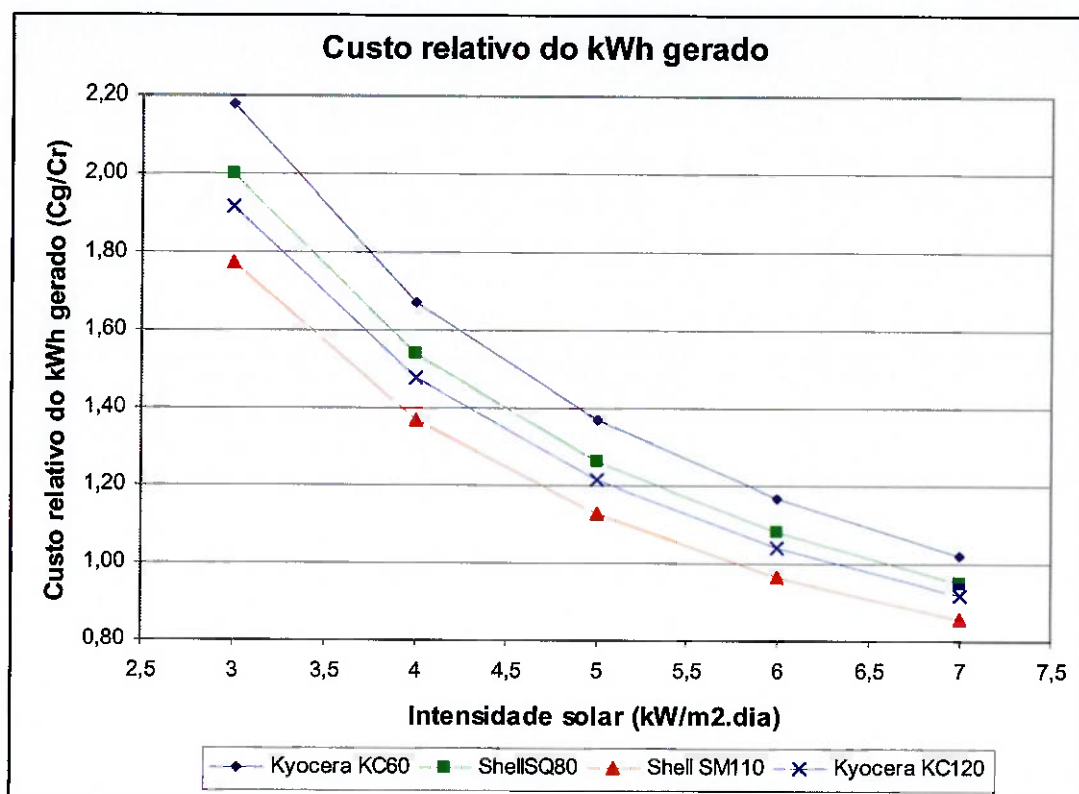


Figura 25 - Custo relativo do kWh gerado

Nota-se que há apenas uma pequena faixa em que o custo do kWh gerado pelo sistema torna-se menor que o da energia da rede convencional. Isto se deve ao fato de que o dimensionamento dos equipamentos foi feito utilizando-se apenas uma placa fotovoltaica, ocorrendo o superdimensionamento dos mesmos. No entanto, em casos práticos, o custo por kWh gerado pode diminuir, pois, para um número maior de placas, o superdimensionamento tende a diminuir. Por outro lado, há placas cuja geração de energia não paga o investimento inicial.

É possível então estabelecer uma relação entre tempo de retorno e intensidade solar, conforme o gráfico a seguir:

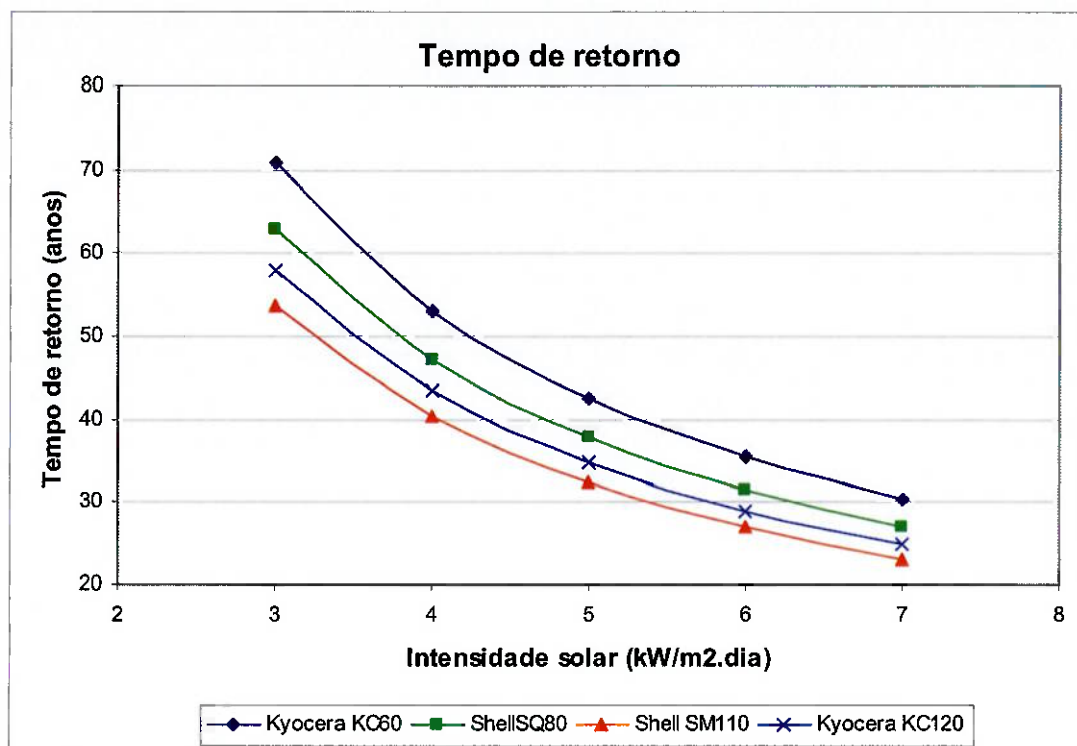


Figura 26 - Tempo de retorno

Conforme esperado, quanto maior a potência da placa, menor o tempo de retorno do investimento, para uma mesma intensidade solar, já que o preço por metro quadrado tende a diminuir conforme aumenta a área da placa. Da mesma forma que para o sistema solar para aquecimento de água, foram introduzidos fatores que modificam o tempo de retorno segundo um critério de demanda de energia suprida e quantidade de recursos utilizada, resultando no gráfico a seguir:

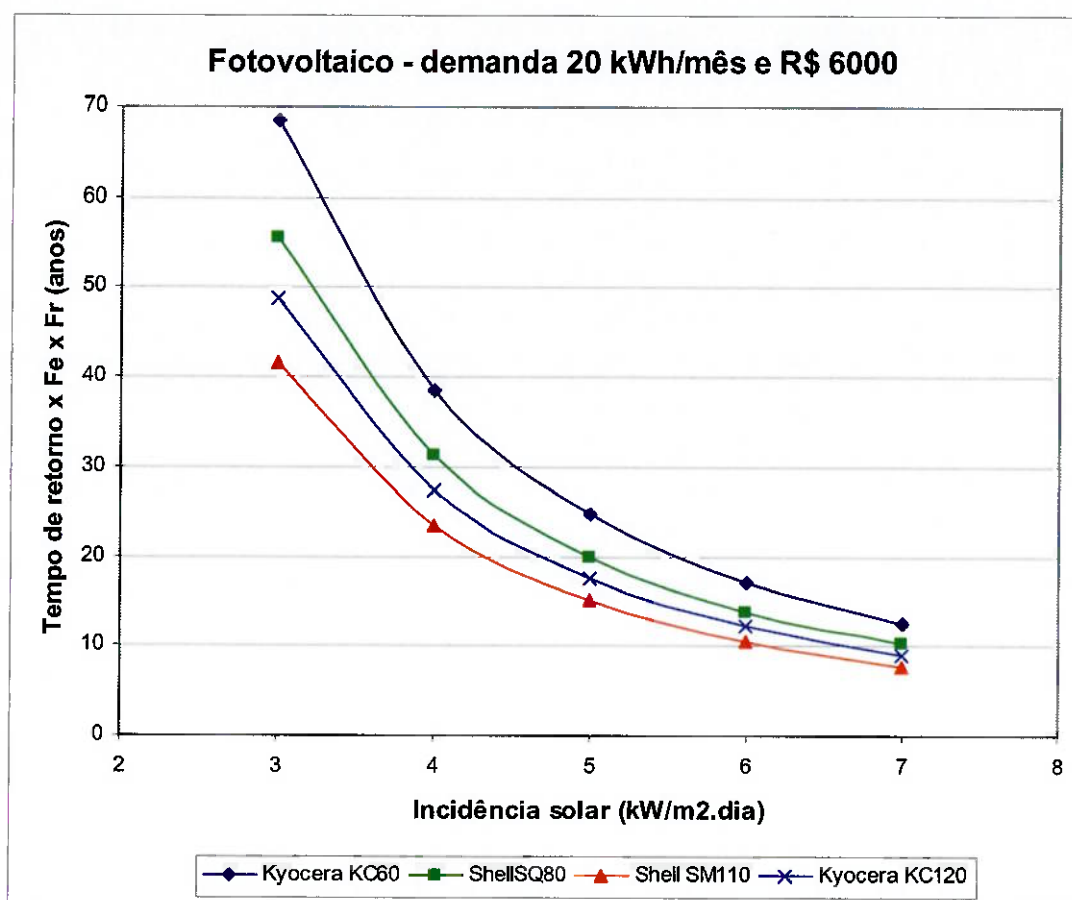


Figura 27 - Tempo de retorno modificado

Observa-se que o padrão não se modifica, pelo fato de que a energia gerada segue uma tendência linear. No entanto, para incidências solares próximas de 7 kW/m2.dia, os fatores modificam de forma significativa o tempo de retorno, devido ao investimento inicial relativamente baixo e da demanda energética suprida.

## 5 ENERGIA EÓLICA

### 5.1 Perspectiva histórica

Os primeiros registros de cata-ventos de eixo vertical são de 1700 a.C., na Babilônia, onde eram utilizados para irrigação. Posteriormente, persas e chineses desenvolveram técnicas para aproveitamento eólico [7].

As experiências com energia eólica provavelmente chegaram a Europa através dos soldados que combateram nas Cruzadas, entre os séculos XI e XIII. No entanto, a idéia do eixo vertical foi substituída pelo eixo horizontal. Já a utilização da energia eólica para conversão em energia elétrica se deu na Dinamarca, no final do século XIX, pelas mãos do professor Poul La Cour [3].

A figura a seguir mostra um moinho de vento localizado na Dinamarca.



Figura 28 – Moinho de vento

## 5.2 Vento

### 5.2.1 Efeitos globais

A energia eólica provém da energia do Sol, já que os ventos são causados pelo aquecimento diferenciado da atmosfera terrestre. Estima-se que 1 a 2% da energia solar é convertida em energia eólica [4].

As regiões próximas à linha do Equador são mais aquecidas pelo Sol do que o resto do planeta. Como o ar quente é mais leve que o 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 a chamada força de Coriolis [6].

Então, quando o ar aproxima-se da latitude de 30° em ambos os hemisférios, a força de Coriolis impede que o ar vá mais longe. Isso faz com que haja diversos ciclos atmosféricos, ao contrário do que ocorreria se não houvesse a rotação do globo. A Figura 29 mostra as direções predominantes dos deslocamentos de ar pela atmosfera.

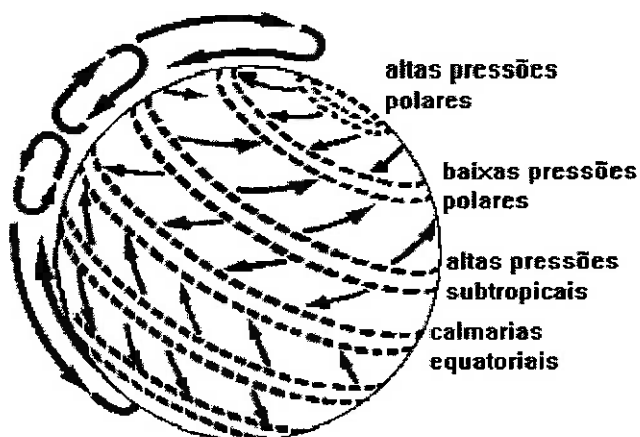


Figura 29 - Direções predominantes do vento

Fonte: CRESESB [4].

### 5.2.2 Efeitos locais

Além das direções predominantes citadas anteriormente, as condições climáticas locais também influenciam o comportamento dos ventos, ou seja, este é determinado pela soma dos dois fatores: globais e locais. Dentre os ventos locais estão as brisas marinhas e os ventos de montanha [4], [6].

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 e, conseqüentemente, forma-se uma corrente de ar que sopra da terra para o mar. Já durante a noite, a temperatura da terra cai mais rapidamente do que a da água e, assim, ocorre a brisa terrestre que sopra da terra para o mar.

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 substituir o ar que subiu. No período noturno, a direção em que sopram os ventos é novamente revertida e o ar frio das montanhas desce e se acumula nos vales.

### 5.3 Disponibilidade de energia

A potência total disponível de uma massa de ar com velocidade constante  $V$ , passando por uma área  $A$ , pode ser calculada por:

$$P_d = \frac{d \cdot A \cdot V^3}{2}, \text{ sendo } d \text{ a densidade do ar local.}$$

Desta expressão, verifica-se que a potência que pode ser extraída de uma massa de ar é proporcional:

- À área “varrida” pelas pás da turbina;
- À densidade do ar local e;
- À sua velocidade elevada ao cubo.

A densidade do ar a 0° C e ao nível do mar é de  $d = 1,2929 \text{ kg/m}^3$ , que deve ser corrigido para a altitude e a temperatura do local da instalação da turbina eólica.

A velocidade do vento, por sua vez, varia conforme a distância em relação ao solo. Para grandes instalações, que muitas vezes alcançam altura de mais de 100 m, este fator torna-se particularmente importante.

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

$$v(h) = v_{ref} \cdot \left( \frac{h}{h_{ref}} \right)^n, \text{ onde:}$$

$n$  : fator de rugosidade do terreno.

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

Tabela 2 - Fator de rugosidade

Tipo de terreno	Fator de rugosidade
Terreno sem vegetação	0,10
Terreno gramado	0,12
Terreno cultivado	0,19
Terreno com poucas árvores	0,23
Terreno com muitas árvores ou edificações	0,26
Florestas	0,28
Zonas urbanas sem edifícios altos	0,32

Porém, segundo Betz [4], apenas parte da energia disponível na massa de ar pode ser aproveitada. A condição de máxima extração 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. Nesta condição, a eficiência teórica é dada pelo fator  $16/27$ , ou 0,593. Em outras palavras, apenas 59,3% da energia contida num fluxo de ar pode ser teoricamente extraída por uma turbina eólica. Na prática, no entanto, 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 do vento é proporcional a sua velocidade elevada à terceira potência, uma pequena variação de seu valor muda completamente a energia gerada. Assim, dobrando-se a velocidade do vento, a potência gerada é multiplicada por 8.

Desta forma, é de vital importância conhecer as variações de velocidade do vento, visto que apenas conhecer a sua média não é suficiente para se dimensionar o sistema eólico. A Figura 30 mostra a distribuição estatística, chamada de Distribuição de Weibull, no segundo semestre, a uma altura de 40 metros, na costa do Ceará. Observa-se que para 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.

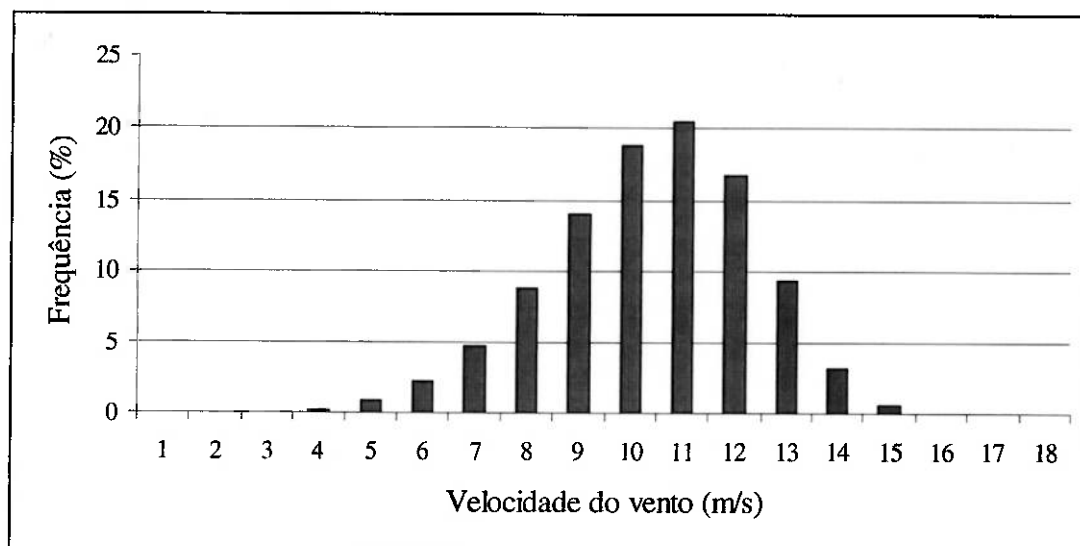


Figura 30 - Distribuição de Weibull

Fonte: SEINFRA [12].

Outra característica do vento que deve ser conhecida é sua direção, de forma a tentar direcionar a turbina diretamente contra o vento. Uma forma de saber quais as direções principais que o vento sopra é através da rosa dos ventos, conforme figura a seguir.

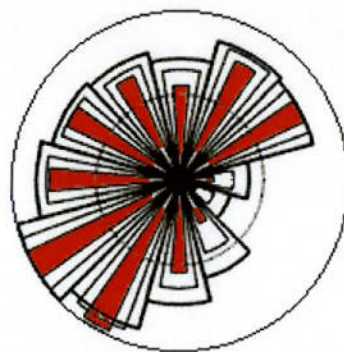


Figura 31 - Rosa dos ventos

Fonte: Danish Wind Industry Association [6]

A rosa dos ventos pode dividir o horizonte em 8, 12 ou 16 setores. A mostrada na figura está dividida em 12 setores. Ela mostra, da mesma forma que a distribuição de Weibull, a frequência em que o vento sopra em cada direção [6].

Além disso, é necessário conhecer também a curva que relaciona a potência gerada pela turbina eólica escolhida em função da velocidade do vento, normalmente fornecida pelo fabricante. A Figura 32 apresenta uma curva de potência típica de um gerador eólico, onde podem ser observadas três velocidades características:

- 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 da máquina;
- 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.

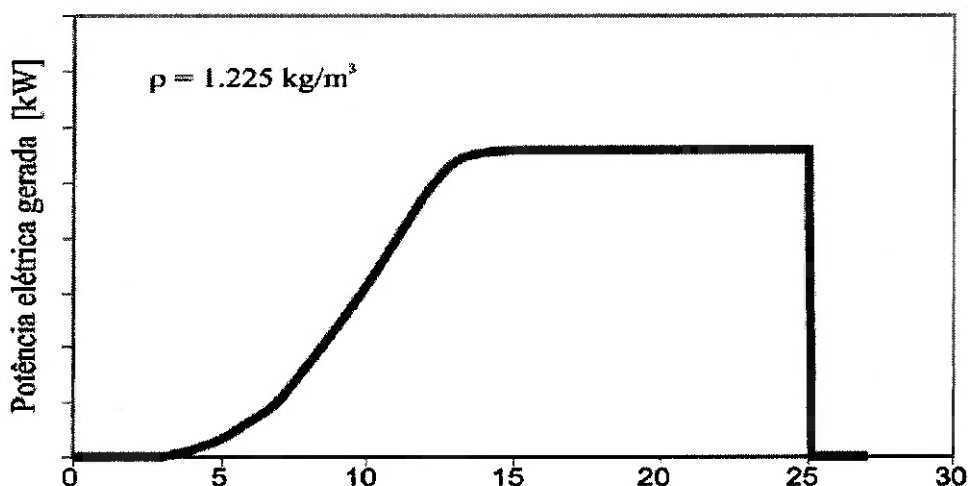
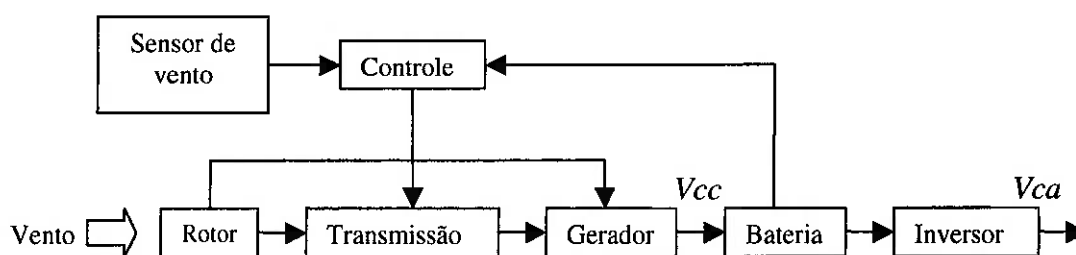


Figura 32 – Curva de potência típica de um gerador eólico.

Fonte: Atlas do Potencial Eólico Brasileiro [9]

#### 5.4 Sistema eólico

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



- Rotor: conjunto formado pelas pás
- Transmissão: em alguns casos, há uma transmissão, geralmente formada por engrenagens, que muda a velocidade do eixo do rotor para o eixo do gerador.
- Gerador: elemento responsável pela geração de eletricidade.
- Baterias: responsável por armazenar energia para ser utilizada posteriormente.
- Controle: responsável por manter os componentes dentro de suas características de projeto

- Inversor: a função do inversor é converter a baixa energia em corrente contínua (CC) armazenada nas baterias em corrente alternada (CA) padronizada para utilização residencial (120 ou 240 Vca, 50 ou 60 Hz).

### 5.5 Disponibilidade de recursos

No Brasil, há estudos que comprovam haver potencial de geração de energia elétrica a partir da energia dos ventos. Além disso, parques eólicos já estão em funcionamento em diversos estados, como Ceará e Minas Gerais. A figura a seguir mostra a média anual da velocidade dos ventos no Brasil, a 50 metros de altura:



Figura 33 - Potencial eólico brasileiro

Fonte: Atlas do Potencial Eólico Brasileiro [9]

Dados de velocidade média anual do vento divididos por região podem ser encontrados no ANEXO A.

## 5.6 Equipamentos

Foram encontrados no mercado alguns equipamentos de geração de energia a partir dos ventos para uso residencial. São todas de eixo horizontal, com três pás e possuem controlador de carga interno. A seguir, estes são apresentados com suas características principais.

### 5.6.1 Turbinas eólicas

#### 5.6.1.1 AIR-X

- Diâmetro: 1,17 m (Figura 34);
- Peso: 6 kg;
- Potência nominal: 400 W a 12,5 m/s;
- Velocidade do vento mínima de geração: 3,13 m/s;
- Voltagem: 12 ou 24 V.

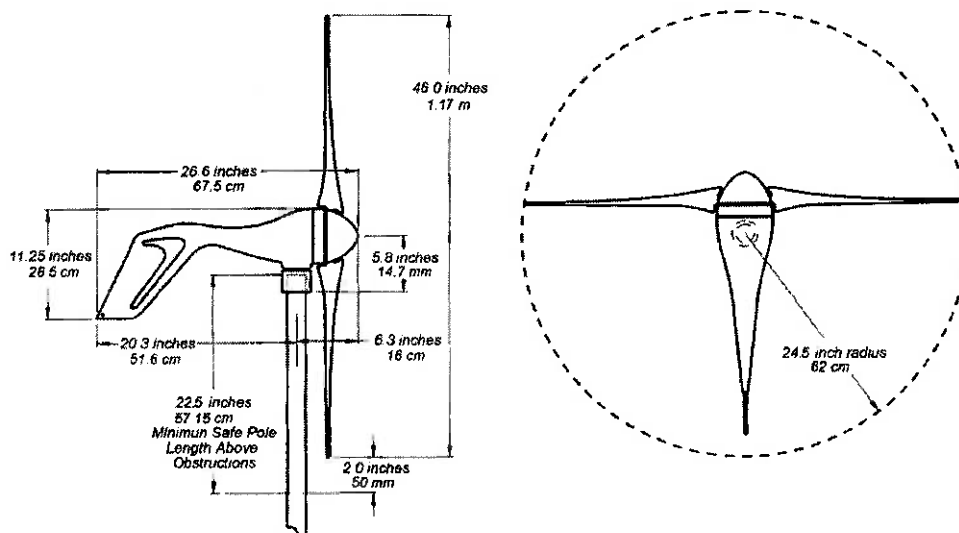


Figura 34 - Dimensões principais da turbina AIR-X

#### **5.6.1.2 Whisper 100**

- Diâmetro: 2,1 m;
- Peso: 21 kg;
- Potência nominal: 900 W a 12,5 m/s;
- Velocidade do vento mínima de geração: 3,4 m/s;
- Voltagem: 12, 24, 36 ou 48 V.

#### **5.6.1.3 Whisper 200**

- Diâmetro: 2,7 m;
- Peso: 30 kg;
- Potência nominal: 1000 W a 11,6 m/s;
- Velocidade do vento mínima de geração: 3,1 m/s;
- Voltagem: 12, 24, 36 ou 48 V.

#### **5.6.1.4 Whisper 500**

- Diâmetro: 4,5 m;
- Peso: 70 kg;
- Potência nominal: 3000 W a 10,5 m/s;
- Velocidade do vento mínima de geração: 3,4 m/s;
- Voltagem: 24, 36 ou 48 V.

### 5.6.2 Inversores



Figura 35 – Inversores

Os inversores encontrados estão listados na tabela a seguir. Estes independem do sistema gerador e, portanto, os mesmos serão utilizados para o sistema fotovoltaico, que também necessita de inversor.

Tabela 3 - Inversores

Potência (W)	Modelos	Fabricante	Tensão Entrada (Vcc)	Tensão Saída (Vca)	Preço (R\$)
150	HT-E-150	izzyPower	12	110	180
300	HT-E-300	izzyPower	12	110	297
400	Jazz 500	Xantrex	12	110	750
600	HT-E-600	izzyPower	12	110	607
1000	PROwatt 800	Statpower	12	110	1380
1200	HT-P-1200	izzyPower	12	110	1215
1500	PROwatt 1500	Statpower	12	110	5695
1750	Jazz 1750	Xantrex	12	110	2790
1800	Prosine 1.800	Statpower	12	110	8380
2300	HT-P-2300	izzyPower	12	110	2525
2500	PS 2512	Trace	12	110	14300
3000	Portawattz PWZ 3000	Statpower	12	110	5640
250	PROwatt 250	Statpower	24	110	1040
1000	Prosine 1.000	Statpower	24	110	6350
1800	Prosine 1.800	Statpower	24	110	9285
4000	SW 4024	Trace	24	110	25980

### 5.6.3 Baterias



Figura 36 – Baterias

Assim como os inversores, as baterias utilizadas para armazenar energia no sistema eólico são as mesmas a serem utilizadas no sistema fotovoltaico, e são as descritas a seguir.

Tabela 4 - Baterias

Marca/Modelo	Capacidade (Ah)	Preço (R\$)
Moura 12MC36	36	190
40A	40	214
Moura 12MC45	45	238
Moura 12MC63	63	346
Moura 12MC105	105	568
Delphi DF2000	115	535
Moura 12MC150	150	740
Moura 12MC175	175	845
Delphi DF3000	185	740
Moura 12MC220	220	1157

### 5.7 Dimensionamento

Para o cálculo da velocidade do vento na altura da turbina a ser instalada, foi utilizada a relação descrita no item 5.3. A partir de então, foi estimada a energia mensal gerada pela curva dada pelo fabricante das turbinas utilizadas, conforme figura a seguir, para o modelo Whisper 500:

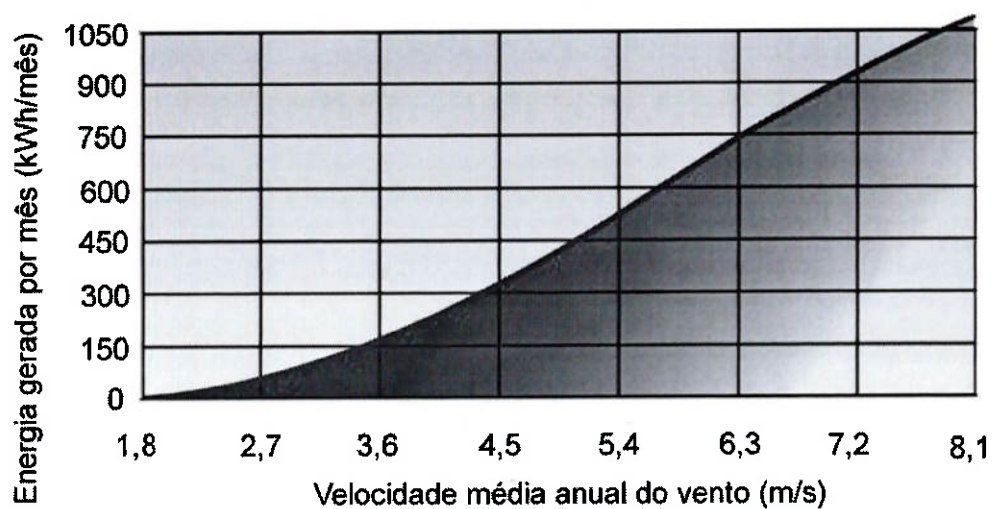


Figura 37 - Energia gerada por mês pela turbina Whisper 500

As curvas de todas as turbinas foram então aproximadas por curvas de sexto grau, para garantir a aproximação à curva real, resultando na seguinte figura:

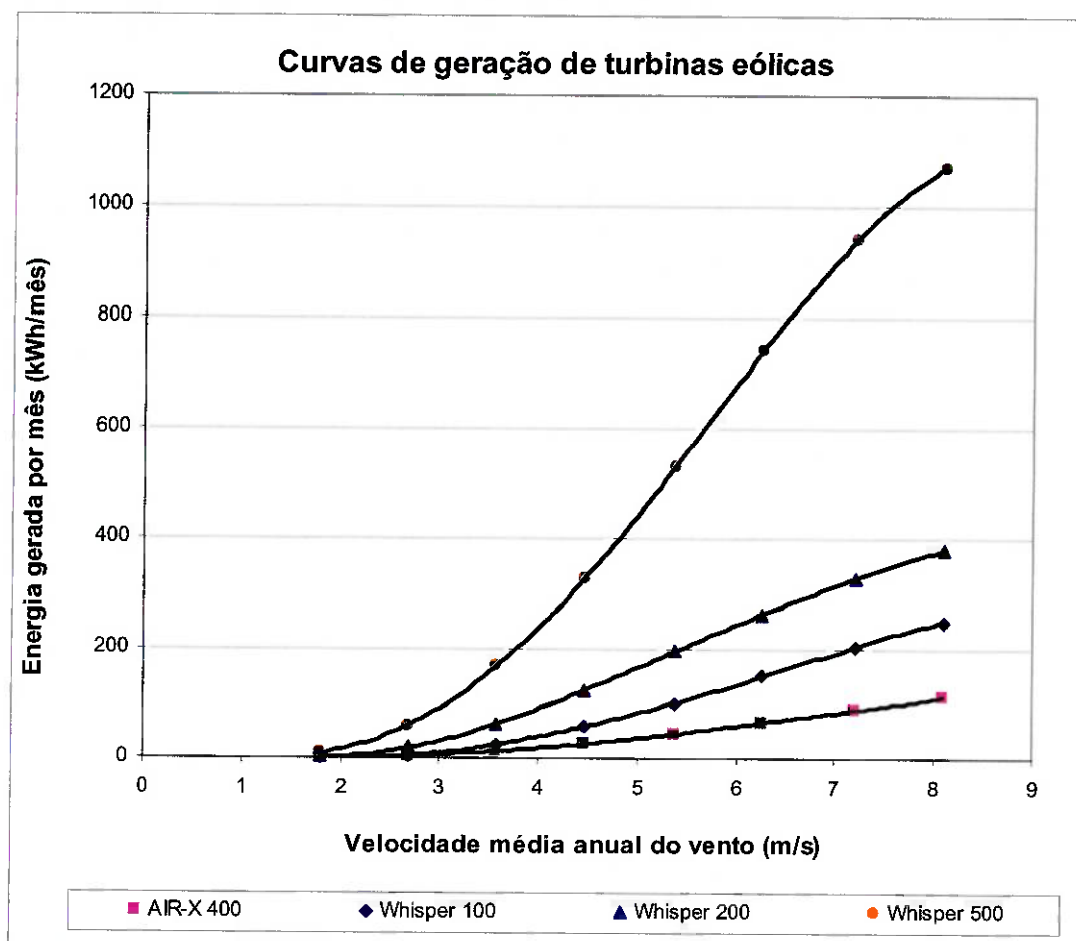


Figura 38 – Curvas de geração

As equações correspondentes a cada curva aproximada são, respectivamente para os modelos AIR-X 400, Whisper 100, Whisper 200 e Whisper 500:

$$y = 0,0045 \cdot x^6 - 0,1107 \cdot x^5 + 0,9829 \cdot x^4 - 3,8868 \cdot x^3 + 8,9776 \cdot x^2 - 8,193 \cdot x$$

$$y = -0,0119 \cdot x^6 + 0,321 \cdot x^5 - 3,4645 \cdot x^4 + 18,368 \cdot x^3 - 40,756 \cdot x^2 + 30,903 \cdot x$$

$$y = -0,0139 \cdot x^6 + 0,4232 \cdot x^5 - 5,0467 \cdot x^4 + 27,853 \cdot x^3 - 59,258 \cdot x^2 + 43 \cdot x$$

$$y = -0,0051 \cdot x^6 + 0,1779 \cdot x^5 - 2,9855 \cdot x^4 + 21,904 \cdot x^3 - 40,871 \cdot x^2 + 23,717 \cdot x$$

Verifica-se que estas equações são boas aproximações para velocidades do vento entre 2,0 e 9,1 m/s, o que poderia ser uma limitação de cálculo. Porém, a

velocidade mínima de geração de energia das turbinas é de aproximadamente 2,5 m/s, fazendo com que a equação não seja utilizada nestes casos. Além disso, para velocidades abaixo de 2,0 m/s, o sistema eólico torna-se inviável, validando a escolha. Da mesma forma, verifica-se que, no Brasil, não há médias anuais maiores que 9,0 m/s, tornando o cálculo confiável, visto que o escopo do projeto define o Brasil como área de atuação. Além disso, a média de 9,0 m/s refere-se a uma altura de 50 metros, que cai para alturas menores devido à rugosidade do terreno. Observa-se também que as equações não possuem termo independente, visto que estas foram forçadas a passar pela origem, já que não há geração de energia sem ventos.

Pelas velocidades médias anuais do vento, que podem ser obtidas do ANEXO A, é possível estimar o valor de energia gerada e, a partir deste, calcula-se a potência real média do equipamento, para as dadas condições de operação, a partir da relação:

$$Potência (W) = \frac{Energia\ gerada\ (Wh / mês)}{30\ dias \cdot 24\ horas} \cdot f, \text{ onde } f = 1,2 \text{ é um fator de}$$

segurança, visto que a potência real passa por picos devido às condições climáticas.

É possível então dimensionar-se a bateria, a partir da seguinte equação:

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

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

$Potência$  : potência real gerada (W);

$T$  : autonomia da bateria (h)

$V_{bateria}$  : voltagem da bateria;

$N$  : profundidade da descarga.

Também com o valor da potência real, é possível dimensionar-se o inversor, completando o sistema. O controlador de carga não é necessário, já que as turbinas eólicas em questão possuem o equipamento internamente. Com todos os equipamentos escolhidos, pode-se fazer a cotação dos mesmos e avaliar a viabilidade econômica do sistema.

## 5.8 Análise econômica

A partir dos custos dos equipamentos e da energia gerada, foi calculado o custo da energia gerada pelo sistema em relação ao custo da energia da rede convencional, conforme o gráfico a seguir.

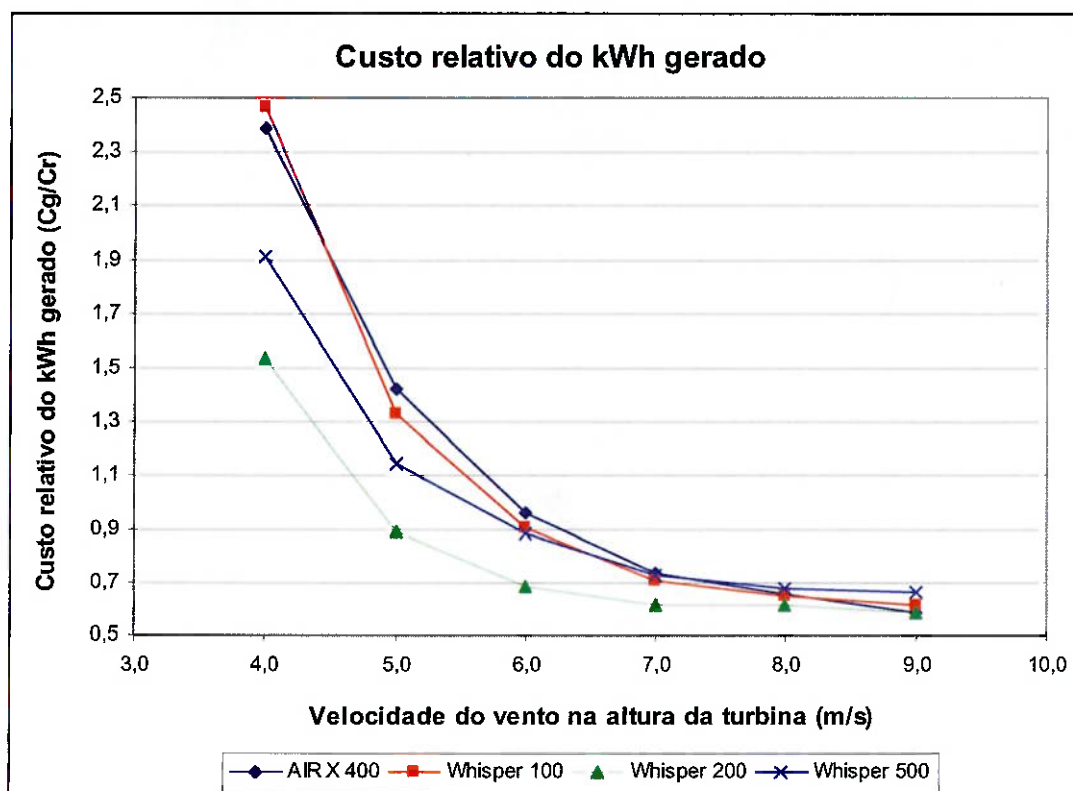


Figura 39 - Custo relativo do kWh gerado

É possível observar que a energia gerada pelo sistema torna-se mais barata que a da rede convencional a partir de velocidades do vento da ordem de 5 m/s. porém, trata-se da velocidade do vento na altura da turbina, o que limita este resultado, já que a rugosidade da superfície diminui bastante a velocidade do vento.

Foi calculado então o tempo de retorno do investimento, conforme o gráfico a seguir:

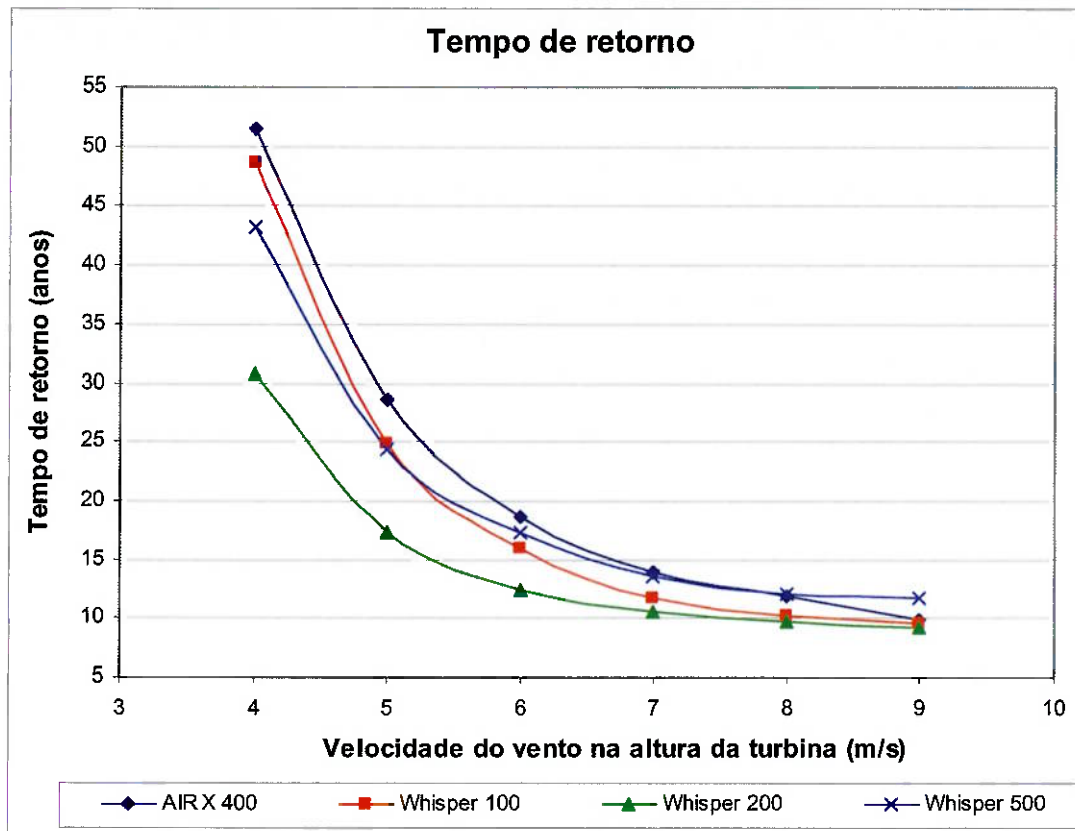


Figura 40 - Tempo de retorno do sistema eólico

A turbina eólica possui uma vida útil estimada em 20 anos. Assim, verifica-se que os sistemas são viáveis economicamente a partir de velocidades do vento na altura da turbina entre 5 e 6 m/s.

Da mesma forma que para os sistemas anteriormente estudados, foram inseridos dois fatores para estudar o efeito da demanda energética atendida e a quantidade de recursos utilizada. Desta forma, é possível traçar os seguintes gráficos:

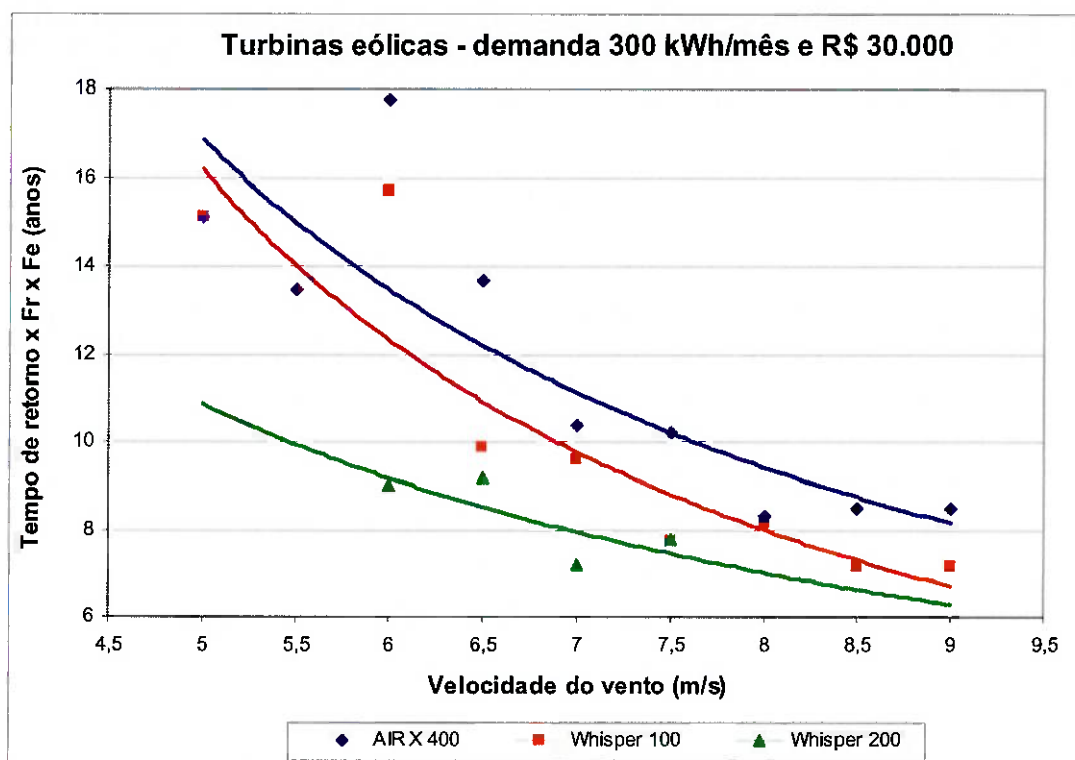


Figura 41 - Tempo de retorno modificado – Situação 1

No gráfico acima, foi traçado o tempo de retorno modificado pelos dois fatores para o caso em que se necessita de 300 kWh/mês com um investimento de R\$ 30.000. Neste caso, é possível observar que o tempo de retorno modificado cai à medida que a velocidade do vento aumenta. Embora a conclusão seja intuitiva e confirma os resultados conseguidos com o gráfico anterior, observa-se que agora não há mais uma linha contínua e facilmente identificável, mas agora apenas uma tendência de comportamento, visto que trata-se de domínio discreto, além dos fatores estabelecidos.

Para avaliar também o comportamento do modelo Whisper 500, foi criada uma situação hipotética de 1000 kWh/mês de demanda energética e R\$ 100.000 de investimento, já que este modelo é capaz de gerar grandes quantidades de energia. Da mesma forma, é possível chegar às mesmas conclusões antes discutidas.

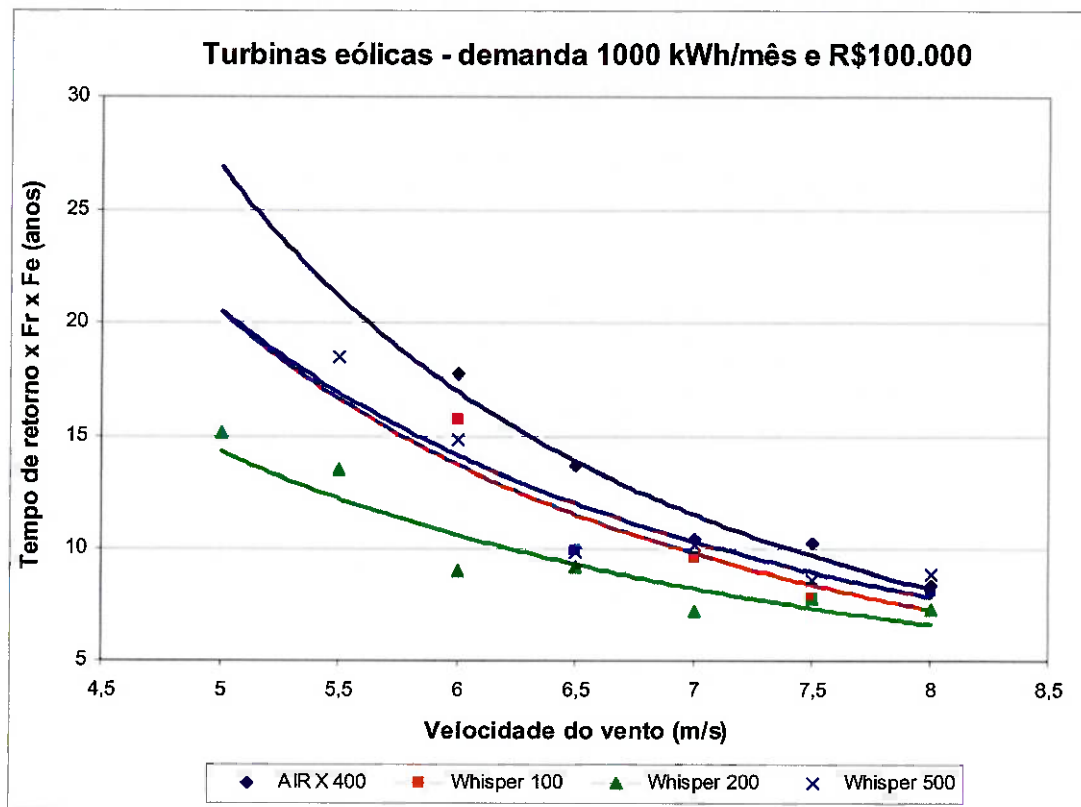


Figura 42 - Tempo de retorno modificado - Situação 2

## 6 GERADORES ESTACIONÁRIOS

### 6.1 Introdução

Denomina-se grupo gerador o conjunto de motor e gerador de corrente alternada, ou alternador, convenientemente montados, dotado de componentes de supervisão e controle necessários ao seu funcionamento autônomo e destinado ao suprimento de energia elétrica a partir do consumo de combustível, sendo os utilizados neste trabalho o diesel e a gasolina.

### 6.2 Potência efetiva

A energia térmica liberada na combustão não é totalmente aproveitada para a realização de trabalho pelo motor. Grande parte desta energia é desperdiçada de várias formas. Em motores Diesel de pequeno porte e alta rotação, o rendimento térmico se situa entre 36 e 40%, valor considerado alto para máquinas térmicas. A Figura 43 mostra o diagrama de fluxo térmico de um motor Diesel de grande cilindrada (diagrama Sankey).

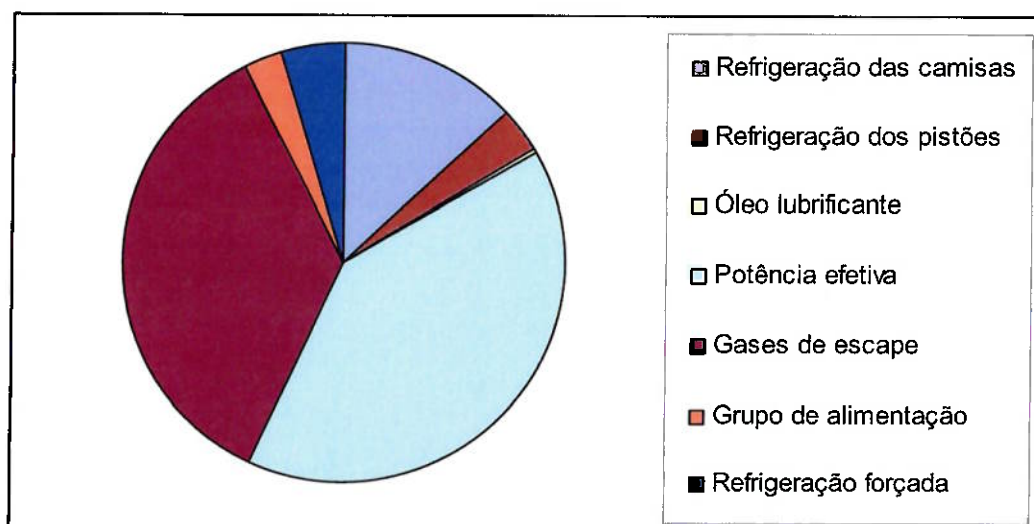


Figura 43 - Diagrama de fluxo térmico

Da potência efetiva fornecida pelo motor, apenas parte desta pode ser convertida em energia elétrica pelo alternador, conforme será visto mais adiante.

### 6.3 Alternadores

Dá-se o nome de alternador ao gerador de corrente alternada, assim como denomina-se dínamo o gerador de corrente contínua. A transformação de energia mecânica em elétrica fundamenta-se no princípio físico conhecido como Lei de Lenz, que 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”. A indução magnética ocorre sempre que há movimento relativo entre um condutor e um campo magnético.

Não há diferenças construtivas entre um alternador e um motor síncrono, podendo um substituir o outro bastando para isso inverter a polaridade do equipamento.

### 6.4 Potência mecânica e elétrica

Quando se fala em potência elétrica, deve-se conhecer potência aparente e potência ativa. Potência aparente é aquela necessária para que, com determinados valores de tensão e corrente, certa carga funcione. Potência ativa é aquela efetivamente consumida ou transformada pela carga. A relação entre as duas é dada pelo fator de potência.

A potência aparente fornecida pelo motor pode ser calculado por:

$$KVA = \frac{HP \cdot 0,7457 \cdot \eta}{\cos \varphi}, \text{ onde:}$$

*HP*: potência efetiva do motor;

$\cos \varphi$ : fator de potência, geralmente 0,8;

$\eta$ : 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.

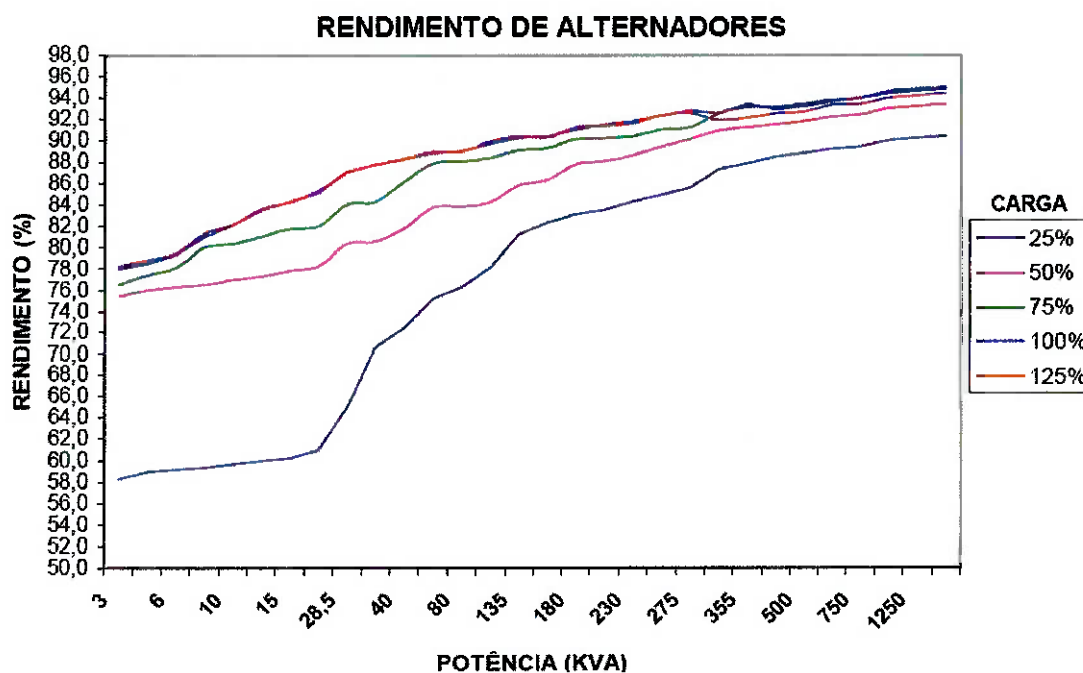


Figura 44 – Rendimento de alternadores

Um fator limitante da potência do alternador é a temperatura alcançada pelo enrolamento induzido. Portanto, são máquinas que sofrem perdas por aquecimento, que pode ser função da temperatura ambiente e da altitude. Os alternadores comerciais são fabricados para operar com temperatura ambiente máxima de 40° C e altitude de 1.000 metros acima do nível do mar.

## 6.5 Equipamentos

Os geradores estacionários apropriados para uso residencial encontrados no mercado foram os da marca Toyama, Branco e Honda, conforme figuras a seguir.



Figura 45 - Gerador Branco



Figura 46 - Gerador Toyama



Figura 47 - Gerador Honda

As características e dados técnicos necessários para o dimensionamento e análise de geradores estacionários são mostrados na tabela a seguir:

Tabela 5 - Características principais dos geradores

Marca/Modelo	Combustível	Potência nominal (W)	Preço (R\$)	Consumo (L/h)
Toyama TC950	Gasolina	800	513	0,84
Toyama TC1300	Gasolina	900	1365	0,74
Branco BD2500	Diesel	1800	2432	1,00
Honda EP2500	Gasolina	2300	2631	1,42
Toyama TC3000	Gasolina	2500	2360	1,60
Branco BD4500	Diesel	3500	3424	2,06
Branco BD6500	Diesel	5000	4149,6	2,79

Fonte: Produtos Branco [2] e Agraupé Motores [1]

## 6.6 Dimensionamento

Por ser um equipamento que depende apenas de combustível para funcionar, ou seja, independe de condições climáticas, como velocidade do vento ou incidência solar, o dimensionamento é relativamente mais simples que os sistemas anteriores. Basta saber o consumo que se deseja suprir para escolher o gerador correspondente. Não há necessidade de acessórios complementares, pois a energia gerada pode ser utilizada diretamente pelos equipamentos da residência.

## 6.7 Análise econômica

O custo de cada kWh gerado por um grupo gerador (Diesel ou gasolina) pode ser calculado da seguinte forma:

$$CG = \frac{\frac{CE}{h} + Q \cdot CC}{P}, \text{ onde:}$$

$CG$  : custo por kWh gerado (R\$/kWh);

$CE$  : custo do equipamento (R\$);

$h$  : durabilidade do motor (horas);

$Q$  : consumo de combustível (L/h);

$CC$  : custo do combustível (R\$/L);

$P$  : potência gerada em uma hora de operação (kW).

Considerando grupos geradores para uso residencial, com potência da ordem de poucos kW, temos a seguinte tabela comparativa, considerando o custo do combustível conforme abaixo:

Tabela 6 - Custo do combustível

CC	
Gasolina	2,30
Diesel	1,92

Tabela 7 - Custo por kWh gerado

Marca/Modelo	Comb.	$h$ (horas)	$P$ (W)	$CE$ (R\$)	$Q$ (L/h)	$CG$ (R\$/kWh)
Toyama TC950	Gasolina	30000	800	513	0,84	2,537
Toyama TC1300	Gasolina	30000	900	1365	0,74	2,026
Branco BD2500	Diesel	30000	1800	2432	1,00	1,081
Honda EP2500	Gasolina	30000	2300	2631	1,42	1,573
Toyama TC3000	Gasolina	30000	2500	2360	1,60	1,615
Branco BD4500	Diesel	30000	3500	3424	2,06	1,173
Branco BD6500	Diesel	30000	5000	4150	2,79	1,141

Com estes valores, foi traçado um gráfico comparando a energia da rede com a energia gerada pelos geradores:

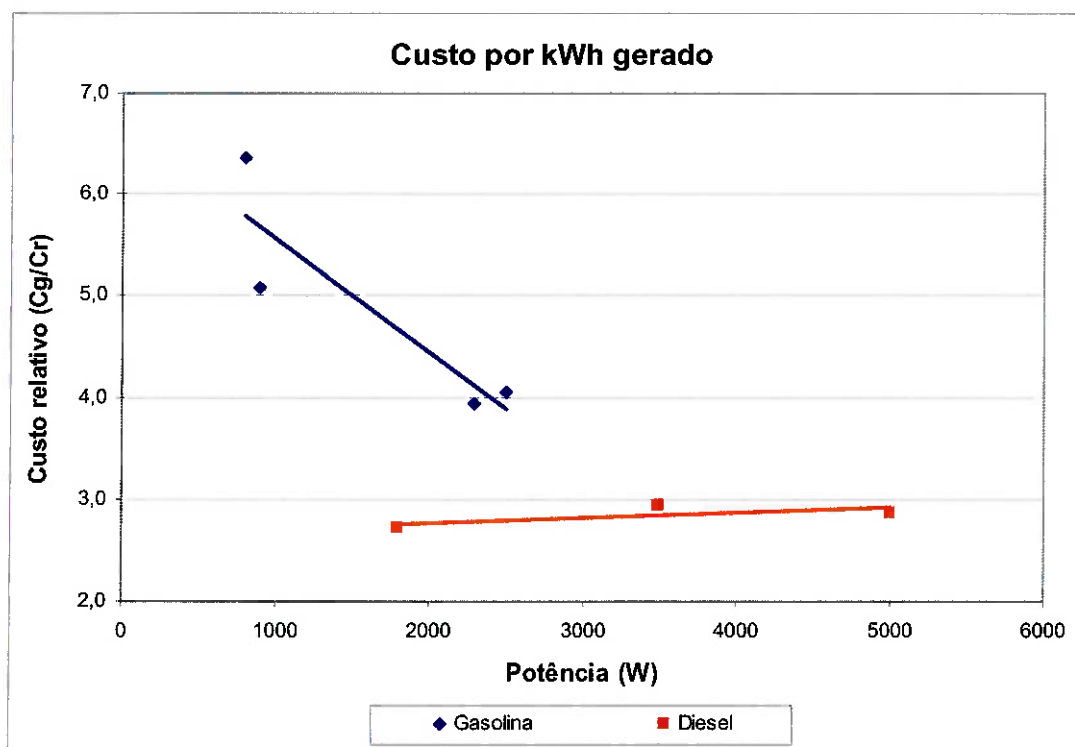


Figura 48 - Custo relativo da energia gerada

É possível observar então que, considerando 0,39 R\$/kWh o custo da energia da rede convencional, o custo da energia gerada por geradores a Diesel ou

gasolina é muito alta, mesmo considerando uma vida útil do equipamento de 30.000 horas e não considerando gastos com manutenção. Desta forma, o uso deste tipo de geração só é válido em casos onde a falta de energia na residência não é tolerada ou quando o usuário esteja disposto a pagar por um sistema muito confiável, que não dependa de condições climáticas ou da rede convencional. Além disso, o uso de geradores estacionários pode ser justificado por uma alta no preço da energia elétrica convencional e/ou uma diminuição no preço do combustível.

## **7 PROGRAMA DE AVALIAÇÃO DA MELHOR ALTERNATIVA**

A fim de avaliar as fontes energéticas mais viáveis em função das características do local a ser implantado e da disponibilidade de capital investido, foi desenvolvido um programa que permite que esta avaliação seja feita.

Baseado no *software Microsoft Excel*, o programa é dividido em planilhas, além de possuir macros criadas em ambiente *Visual Basic for Application*, cujos códigos de programação estão contidos no ANEXO B. As planilhas criadas são as descritas a seguir:

### **7.1 Entradas**

Nessa planilha são inseridos os dados de entrada, a partir dos quais será possível obter o melhor sistema a ser implantado de acordo com a configuração dada pelo usuário, no que diz respeito às características físicas do local e disponibilidade de recursos financeiros.

	A	B
1	<b>Sistema eólico</b>	
2	Velocidade do vento (média anual a 50m de altura)	8
3	Altura da turbina	20
4	Tipo de terreno	Zonas urbanas sem edificios altos
5		
6	<b>Sistema solar</b>	
7	Intensidade solar média (kW/m <sup>2</sup> .dia)	7
8	Número de banhos por dia	0
9	Tempo do banho (minutos)	0
10	Banheira de hidromassagem (L)*	0
11	Torneiras com água quente (L)*	0
12		
13	<b>Sistema gerador estacionário</b>	
14	Preço Diesel (R\$/litro)	1,8
15	Preço gasolina (R\$/litro)	2,4
16		
17	<b>Disponibilidade de recursos (R\$)</b>	25000
18		
19	<b>Preço energia elétrica convencional (R\$/kWh)</b>	0,28720342
20	ICMS (%)	33,33
21	PIS/COFINS (%)	5,5
22	<b>Total (R\$/kWh)</b>	0,398724508
23		
24		
25		
26	<b>Total gasto com aquecimento de água (kWh/mês)*</b>	0
27	<b>Total com energia elétrica (kWh/mês)*</b>	127
28	<b>TOTAL MENSAL (kWh/mês)</b>	127
29	<b>Total consumo de água quente (L)</b>	0
30	<b>Potência do gerador estacionário (W)*</b>	200
31	* Caso julgue necessário, utilizar a planilha "Gastos" para estimar o consumo	

Figura 49 - Planilha "Entradas"

É importante ressaltar que todos os dados dessa planilha devem ser preenchidos, uma vez que a planilha "Gastos", eventualmente utilizada, serve somente como um sistema de apoio ao usuário para obter informações necessárias ao preenchimento da planilha "Entradas". Assim sendo, os valores obtidos na planilha "Gastos" não serão contabilizados, devendo ser obrigatoriamente inseridos na planilha "Entradas", para sua utilização pelo programa.

Durante o preenchimento da planilha, o usuário não deverá preencher os campos com borda em negrito, uma vez que os valores desses campos são automaticamente gerados, conforme o preenchimento dos demais campos.

Nesta planilha são inseridas as seguintes entradas do programa (em parênteses estão as unidades):

- Velocidade do vento: velocidade média anual do vento (m/s) a uma altura de 50 metros, de acordo com o mapa de ventos disponibilizado no ANEXO A;

- Altura da turbina: altura de instalação da turbina eólica em relação ao solo (m);
- Característica do terreno próximo ao local de instalação da turbina;
- Intensidade solar média: variável conforme a localização, de acordo com o site da CRESESB [5], no link potencial energético;
- Número de banhos por dia: número de vezes em que o chuveiro é utilizado diariamente;
- Banheira de hidromassagem: nesse campo, insere-se o volume de água (em litros) gasto com banheira de hidromassagem, por dia. Na planilha “Gastos”, o usuário pode obter ajuda para calcular o volume de água utilizado;
- Torneiras com água quente: esse item leva em conta torneiras de água quente nos banheiros, na cozinha e na lavanderia. Da mesma maneira como procedida para o item banheira de hidromassagem, para o cálculo do volume de água (em litros) utilizado com torneiras de água quente, o usuário pode utilizar a planilha “Gastos” para obter um valor aproximado do volume de água quente utilizado;
- Custo do combustível, para o gerador estacionário: custo por litro de gasolina ou diesel, variável de acordo com a região do país (R\$/litro);
- Disponibilidade de recursos: valor total que o usuário está disposto a empregar em fontes alternativas de energia (R\$), levando-se em consideração apenas os valores gastos com os equipamentos dos sistemas, sem a contabilização do gerador estacionário, e de eventuais recursos utilizados com mão-de-obra e outros materiais;
- Preço da energia elétrica convencional: valor cobrado, por kW/h, pela concessionária da região. Além desse valor, é necessário que sejam inseridos valores de ICMS (%) e PIS/COFINS que são efetivamente cobrados pela utilização de energia.

## 7.2 Gastos

A planilha gastos é dividida em três partes, que são utilizadas para o auxílio do usuário com: total de energia elétrica gasto por mês (Figura 50), volume total de água gasto por dia e total de potência que o gerador deve gerar (Figura 51).

	A	B	C	D	E	F	G	
1				<b>Frequência de utilização (dias por semana)</b>	<b>Tempo de utilização</b>		<b>Energia mensal (Wh)</b>	
2	<b>Qtidade</b>	<b>Aparelho</b>	<b>Pot (W)</b>		<b>r</b>	<b>Min</b>		
3	1	Aparelho de som	100	2		30	400	
4	1	Aquecedor de ar	1500	1		10	1000	
5	1	Aquecedor central (boiler)	2000	1	1		8000	
6	1	Ar-condicionado	1000	2	2		16000	
7	1	Aspirador de pó	700	2		30	2800	
8	1	Barbeador	50	5		3	50	
9	1	Batedeira	100	1		5	33	
10	1	Cafeteira	650	3		10	1300	
11	3	Carregador de bateria	70	2	2		3360	
12	1	Chuveiro elétrico	4200	7	1	40	196000	
13	2	Computador	150	7	3		25200	
14	1	DVD	25	1	2		200	
15	1	Ferro de passar	1000	1		30	2000	
16	1	Forno elétrico	2000	3		5	2000	
17	1	Forno microondas	1200	4		5	1600	
18	1	Freezer	250	7	8		56000	
19	1	Geladeira	250	7	8		56000	
20	1	Impressora	90	1		10	60	
21	3	Lâmpada fluorescente compacta (15W)	15	7	5		6300	
22	4	Lâmpada fluorescente compacta (20W)	20	7	5		11200	
23	3	Lâmpada fluorescente tubular 120cm (40W)	40	7	2		6720	
24	2	Lâmpada fluorescente tubular 60cm (30W)	30	7	2		3360	
25	3	Lâmpada incandescente (100W)	100	7	3		25200	
26	3	Lâmpada incandescente (150W)	150	3	3		16200	
27	3	Lâmpada incandescente (60W)	60	7	3		15120	
28	1	Lava-louça	1200	3		15	3600	
29	1	Liquidificador	350	1		5	117	
30	1	Máquina de lavar roupa	600	1	2		4800	
31	1	Secador de cabelo	1000	7		15	7000	
32	1	Secadora de roupa	800	1	2		6400	
33	1	Televisão 14"	45	7	2		2520	
34	2	Televisão 20"	60	7	2		6720	
35	1	Televisão 29"	100	7	2		5600	
36	2	Torneira elétrica	400	7		30	11200	
37	1	Torradeira	1000	7		1	467	
38	1	Vídeo-cassete	25	1	1		100	
39	1	Videogame	10	3	2		240	
40		<b>Outros aparelhos</b>						
41								
42								
43								
44								
45								
46								
47								
48								
49		<b>Total gasto com aquecimento de água (kWh/mês)</b>						<b>215</b>
50		<b>Total gasto com energia elétrica (kWh/mês)</b>						<b>290</b>
51		<b>TOTAL MENSAL (kWh/mês)</b>						<b>505</b>
52		<b>Potência do gerador (W)</b>						<b>0</b>

Figura 50 - Planilha "Gastos" - parte 1

	A	B	C	D
54	<b>Consumo de água quente</b>			
55	<b>Qtidade</b>	<b>Aparelho</b>	<b>Gasto (L)</b>	<b>Total (L)</b>
56	1	Banheira de hidromassagem simples	100	100
57		Banheira de hidromassagem dupla	200	0
58	<b>Total banheira de hidromassagem (L)</b>			<b>100</b>
59	3	Torneira com água quente no banheiro	10	30
60	1	Torneira com água quente na cozinha	50	50
61	1	Torneira com água quente na lavanderia	100	100
62	<b>Total torneira com água quente (L)</b>			<b>180</b>
63				
64	<b>Gerador estacionário</b>			
65	<b>Qtidade</b>	<b>Aparelho</b>	<b>Pot (W)</b>	<b>Potência total (W)</b>
66	2	Carregador de bateria	70	140
67	2	Computador	150	300
68	1	Freezer	250	250
69	1	Geladeira	250	250
70	1	Impressora	90	90
71	2	Lâmpada fluorescente compacta (15W)	15	30
72	2	Lâmpada fluorescente compacta (20W)	20	40
73		Lâmpada fluorescente tubular 120cm (40W)	40	0
74		Lâmpada fluorescente tubular 60cm (30W)	30	0
75	1	Lâmpada incandescente (100W)	100	100
76	1	Lâmpada incandescente (150W)	150	150
77		Lâmpada incandescente (60W)	60	0
78		Televisão 14"	45	0
79		Televisão 20"	60	0
80		Televisão 29"	100	0
81	<b>Outros aparelhos</b>			
82				
83				
84				
85				
86				
87	<b>Potência total para o gerador estacionário (W)</b>			<b>1350</b>

Figura 51 - Planilha "Gastos" - partes 2 e 3

Durante o preenchimento da planilha, o usuário não deverá preencher os campos que contenham indicações do tipo "Preencher campo XXX na planilha "Entradas"." no lado direito, uma vez que os valores desses campos são automaticamente gerados, conforme o preenchimento dos demais campos. Cabendo ao usuário somente preencher a planilha "Entradas" com os valores gerados nesses campos, na célula indicada ao lado de cada um deles.

Nesta planilha estão listados os equipamentos mais usuais em uma residência. Esta parte da planilha permite ao usuário estimar o gasto mensal com energia elétrica (em kWh). Para isso o usuário deve preencher os seguintes campos:

- Quantidade: número de cada um dos aparelhos listados;
- Freqüência: especifica quantas vezes por semana, em média, o aparelho é utilizado;

- Tempo de utilização: tempo médio de cada utilização, em horas e minutos;

- Potência: o programa possui valores de potência padrão para cada aparelho, de acordo com dados dos vários fabricantes. Entretanto, o usuário pode modificar este valor conforme o seu aparelho;

- Campos adicionais: esses campos aparecem em branco logo após os aparelhos mais comuns e podem ser preenchidos com eventuais equipamentos que não constam na lista.

Como resultado, a planilha calcula os seguintes valores:

- Energia mensal utilizada para aquecimento de água: valor de referência para o dimensionamento do sistema solar de aquecimento de água;

- Energia mensal utilizada com os demais aparelhos: valor de referência para o dimensionamento dos sistemas fotovoltaico, eólico e gerador estacionário;

- Total consumido: energia total consumida na residência;

Além disso, preenchendo-se os campos das outras duas partes da planilha (consumo de água quente e gerador estacionário), a planilha calcula:

- Volume de água total (em litros) gasto com banheira de hidromassagem;

- Volume de água total (em litros) gasto com torneiras de água quente;

- Potência total a ser gerada pelo gerador.

Os valores acima calculados deverão obrigatoriamente ser inseridos na planilha “Entradas”, no local indicado ao lado de cada campo contornado em negrito.

### 7.3 Solar

Nesta planilha encontra-se o programa que define a viabilidade de se utilizar o sistema solar para aquecimento de água.

	A	B	C	D	E
1	<b>Sistema solar</b>				
2	<b>Placas solares</b>	<b>Área (m2)</b>	<b>Preço (R\$)</b>	<b>Eficiência (%)</b>	<b>(kWh/mês)</b>
3	Soletrol Max Mini Vertical	1	450	0,517	108,57
4	Soletrol Max Cobre Vertical	1,45	620	0,542	165,04
5	Soletrol Max Alumínio Vertical	1,45	640	0,554	168,69
6	Soletrol Max Alumínio Horizontal/Vertical	1,58	730	0,597	198,08
7	Soletrol Max Alumínio Horizontal	2	800	0,538	225,96
8	Soletrol Max Alumínio Vertical	2	800	0,597	250,74
9					
10					
11	<b>Reservatório água quente (boiler)</b>	<b>(L)</b>	<b>Preço (R\$)</b>		
12	Térmico horizontal	200	1000		
13	Térmico horizontal	300	1400		
14	Térmico horizontal	400	1880		
15	Térmico horizontal	500	2300		
16	Térmico horizontal	600	2760		
17	Térmico horizontal alta pressão	800	3500		
18	Térmico horizontal alta pressão	1000	4250		
19					
20	<b>Custo total (R\$)</b>	<b>Retorno (anos)</b>			
21	0	0,00			
22					

Figura 52 - Planilha "Solar"

Sua viabilidade é definida da seguinte maneira: a partir dos dados inseridos na planilha de entrada, o programa faz o dimensionamento dos equipamentos mais apropriados para tal situação. O sistema solar para aquecimento de água mais apropriado é definido pela capacidade volumétrica do reservatório térmico, além do número de coletores necessários para aquecer a quantidade de água demandada. Com os parâmetros citados acima definidos, o programa calculará ainda o valor total a ser gasto pelo usuário para implantar o sistema, sem, entretanto, levar em consideração eventuais gastos com material e mão-de-obra. Além disso, outro dado de saída será o tempo médio de retorno do investimento, que, assim como o tempo de retorno dos demais sistemas, será estimado em termos de valores presentes, não levando em consideração juros e taxas de correção.

Para calcular o custo total do sistema de aquecimento por energia solar, bem como o dos demais sistemas, o programa contém uma base de dados dos

equipamentos que fazem parte de cada um dos sistemas, sendo para o solar, reservatório térmico e coletor, em diferentes modelos e tamanhos, cada um com seu respectivo valor comercial.

Durante a realização dos cálculos, é considerada a eficiência de cada uma das placas possíveis de serem empregadas, escolhendo então, a mais viável de acordo com a entrada definida pelo usuário.

A fim de garantir uma maior eficácia do programa, é necessário que esses valores sejam atualizados constantemente, bem como o valor do kWh da rede elétrica convencional.

De modo geral, o sistema solar para aquecimento de água estará presente dentre os sistemas mais viáveis para uma vasta gama de valores de entrada. Isso devido a alguns fatores, como os abaixo descritos:

- Aparelho de complexidade relativamente baixa, acarretando em baixo custo de aquisição, se comparado aos demais sistemas;
- Facilidade de instalação, podendo ser instalado em residências em construção ou já construídas;
- Facilidade de manutenção e reposição de peças a um baixo custo;

Esse sistema supre a necessidade de aquecimento de água, o qual demanda grande parte da energia da rede elétrica utilizada em uma residência, tendo considerável participação no gasto mensal com energia elétrica.

#### **7.4 Eólico**

Na planilha “Eólico” são realizados os cálculos referentes ao dimensionamento da turbina, ou turbinas, apropriadas às condições indicadas pelo usuário na entrada, levando em consideração também o valor a ser gasto pelo usuário, já descontado o valor utilizado com o sistema solar para aquecimento de água.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Sistema eólico									
2	Superfície	Zonas urbanas sem edifícios altos								
3	Fator de rugosidade	0,32								
4	Velocidade na altura da turbina (m/s)	5,97								
5										
6	Turbina eólica (com controlador)	Potência nominal (W)	Preço (R\$)	Voltagem (V)	Energia gerada (kWh/mês)	Potência real (W)	Baterias (Ah)	Disponível (Ah)	Baterias em série	Total de baterias
7	AIR X 400	400	3637	12	56,8	94,6	126,1	150	1	2
8	Whisper 100	900	8154	12	134,7	224,5	299,3	150	2	4
9	Whisper 200	1000	10980	12	240,3	400,5	534,0	185	3	6
10	Whisper 500	3200	37413	24	670,6	1117,7	745,2	220	4	16
11										
12		Preço total (R\$)	Retorno (anos)	Viável?	Quantidade	Energia a ser suprida (kWh)	Recursos disponíveis (R\$)	Inversor (W)		
13	AIR X 400	5297	19,50	Sim	2	13,5	14406	175		
14	Whisper 100	11411	17,71	Sim	1	-7,7	13589	300		
15	Whisper 200	15927	13,85	Sim		127,0	25000	600		
16	Whisper 500	57140	17,81	Sim		127,0	25000	1200		

Figura 53 - Planilha "Eólico"

Junto com a especificação da(s) turbina(s) mais apropriada(s), essa planilha também indica a quantidade e o modelo do controlador a ser utilizado, além do número total de baterias e suas capacidades de carga. As baterias deverão ser ligadas em série ou em paralelo, conforme a voltagem gerada pela turbina. Para turbina que geram diferença de potencial de 24 V, é necessário que as baterias de 12 V sejam ligadas em série duas a duas.

Outra função apresentada nessa planilha é a de indicar a quantidade de energia a ser ainda suprida por outros sistemas, uma vez que não pôde ser suprida pelo sistema eólico por questões de velocidade do vento na região ou por questões de insuficiente quantidade de dinheiro a ser gasto.

O tempo de retorno específico para esse sistema é também calculado, e sua viabilidade é alcançada para aparelhos com tempo de retorno menor que vinte anos, de forma que aparelhos que apresentam tempo de retorno superior a este tempo, não são aconselhados e, conseqüentemente, não são apresentados como uma alternativa para o usuário.

## 7.5 Fotovoltaico “Foto”

A planilha “Foto”, referente ao sistema fotovoltaico, calcula o sistema fotovoltaico mais viável para a configuração apresentada pelo usuário, levando-se em consideração a energia restante a ser suprida e a quantidade de recursos ainda disponíveis, já descontados valores gastos com sistema solar para aquecimento e sistema eólico. A figura abaixo ilustra essa planilha:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Sistema fotovoltaico									
2	Painel	Potência (W)	Preço placa (R\$)	Energia gerada (kWh/mês)	Potência real (W)	Baterias (Ah)	Disponível (Ah)	Preço placa+bateria (R\$)	Retorno (anos)	Viável?
3	Shell ST5	5	190	0,92	1,53	2,04	36	380	86,3	Não
4	Shell ST10	10	330	1,92	3,20	4,27	36	520	56,6	Não
5	Shell ST20	20	580	3,78	6,29	8,39	36	770	42,6	Não
6	Kyocera KC35	35	697	6,02	10,03	13,37	36	887	30,8	Não
7	Shell ST40	40	825	6,62	11,04	14,72	36	1015	32,0	Não
8	Kyocera KC45	45	865	7,64	12,73	16,97	36	1055	28,9	Sim
9	Shell SM50	50	950	8,35	13,91	18,55	36	1140	28,5	Sim
10	Kyocera KC60	60	1139	9,16	15,26	20,35	36	1329	30,3	Não
11	ShellSQ80	80	1390	12,25	20,41	27,21	36	1580	27,0	Sim
12	Shell SM110	110	1730	17,39	28,98	38,64	40	1944	23,4	Sim
13	Kyocera KC120	120	1982	18,30	30,49	40,65	45	2220	25,4	Sim

Figura 54 - Planilha "Foto"

O melhor aparelho a ser utilizado é definido pelo menor tempo de retorno. Para o caso de sistemas fotovoltaicos, a viabilidade é alcançada para sistemas que apresentam tempo de retorno menor que 30 anos, isso por razões como a garantia dos painéis solares dadas pelo fabricante e vida útil do equipamento. Juntamente com o melhor painel a ser utilizado, são indicados a quantidade e o modelo de inversores, controladores de carga e baterias, sendo que a quantidade de baterias dimensionada, da mesma forma como feito para sistemas eólicos, é o dobro da efetivamente utilizada, isso porque é suposto que as baterias durem a metade do tempo de duração dos painéis fotovoltaicos e das turbinas.

## 7.6 Gerador

A planilha “Gerador” permite calcular o custo por kWh gerado por cada modelo de gerador e em função do valor por litro do combustível a ser utilizado. Essa planilha pode ser vista na Figura 55.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Marca/Modelo	Combustível	Durabilidade (horas)	Potência nominal (W)	Preço (R\$)	Consumo (L/h)	Custo por kWh gerado (R\$/kWh)
2	Toyama TC950	Gasolina	30000	800	513	0,84	2,537
3	Toyama TC1300	Gasolina	30000	900	1365	0,74	2,026
4	Branco BD2500	Diesel	30000	1800	2432	1,00	1,081
5	Honda EP2500	Gasolina	30000	2300	2631	1,42	1,573
6	Toyama TC3000	Gasolina	30000	2500	2360	1,60	1,615
7	Branco BD4500	Diesel	30000	3500	3424	2,06	1,173
8	Branco BD6500	Diesel	30000	5000	4149,6	2,79	1,141

Figura 55 - Planilha "Gerador"

O melhor gerador a ser utilizado, em termos de custo por kWh, poderá variar de acordo com a região do Brasil em função dos diferentes valores para cada litro de combustível. No custo por kWh de cada gerador está diluído o custo inicial do gerador dividido pelo tempo de vida útil estimado do mesmo. O gerador a ser definido pelo programa, e indicado como sendo o mais apropriado na planilha de saída é aquele que é capaz de gerar um valor imediatamente superior ao valor requerido pelo usuário, que por sua vez é inserido na planilha "Entradas", podendo para isso, se auxiliar pela planilha "Custos". É importante ressaltar novamente que o custo do gerador não é contabilizado no valor da disponibilidade de recursos inserido na planilha de entrada do programa, sendo um valor a parte. Dessa maneira, o usuário terá que pagar uma quantia a mais dependendo da quantidade de potência que ele deseja suprir com o gerador.

## 7.7 Equipamentos

Nesta planilha estão contidos modelos de equipamentos como inversores, baterias e controladores de carga que são utilizados em outros sistemas, como eólico e fotovoltaico. Além disso, contém informações e especificações técnicas necessárias para seu dimensionamento, bem como o preço de cada equipamento.

	A	B	C	D	E	F
2	<b>Marca/Modelo</b>	<b>Capacidade (Ah)</b>	<b>Preço (R\$)</b>			
3	Moura 12MC36	36	190			
4	40A	40	214			
5	Moura 12MC45	45	238			
6	Moura 12MC63	63	346			
7	Moura 12MC105	105	568			
8	Delphi DF2000	115	535			
9	Moura 12MC150	150	740			
10	Moura 12MC175	175	845			
11	Delphi DF3000	185	740			
12	Moura 12MC220	220	1157			
13						
14	<b>Inversores</b>					
15	<b>Potência (V)</b>	<b>Modelos</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Tensão Entrada (Vcc)</b>	<b>Tensão Saída (Vca)</b>	<b>Preço (R\$)</b>
16	175	HT-E-150	izzyPower	12	110	180
17	300	HT-E-300	izzyPower	12	110	297
18	400	Jazz 500	Xantrex	12	110	520
19	600	HT-E-600	izzyPower	12	110	607
20	1000	PRDwatt 800	Statpower	12	110	1380
21	1200	HT-P-1200	izzyPower	12	110	1215
22	1500	PRDwatt 1500	Statpower	12	110	2035
23	1750	Jazz 1750	Xantrex	12	110	2790
24	2300	HT-P-2300	izzyPower	12	110	3253
25	3000	Portawattz PWZ 3000	Statpower	12	110	5640
26						
27	<b>Controladores</b>					
28	<b>Modelo</b>	<b>Voltagem (V)</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Corrente (A)</b>	<b>Preço (R\$)</b>	
29	Solsun 8.8	12	Steca GmbH	8	265	
30	SunSaver-SS10	12	Morningstar	10	280	
31	Sunlight-SL10	12	Morningstar	10	410	
32	SF 12 A	12/24	Steca GmbH	12	480	
33	Prostar 15	12/24	Morningstar	15	640	
34	SF 20A	12/24	Steca GmbH	20	404	
35	SF 30A	12/24	Steca GmbH	30	525	
36	ProStar 35	12/24	Morningstar	35	915	
37	C40	12/24	Trace	40	1050	
38	Tristar TS 45	12/24	Morningstar	45	1430	

Figura 56 - Planilha "Equipamentos"

Essa planilha funciona como uma base de dados a partir do qual o programa busca dados para dimensionar os equipamentos que acompanham os sistemas eólico e fotovoltaico.

## 7.8 Saídas

Nessa planilha serão visualizados todos os equipamentos mais indicados de acordo com os dados de entrada do usuário.

	A	B	C	D	E	F
1	<b>Melhores alternativas para sua configuração</b>					
2						
3						
4				<a href="#">Clique aqui</a>		
5						
6		<b>Solar para aquecimento de agua</b>				
7						
8		Quantidade de coletores	2			
9		Modelo do coletor	Soletrol Max Cobre Vertical			
10		Área da placa (m <sup>2</sup> )	145			
11		Capacidade do reservatório (L)	500			
12		Custo do sistema (R\$)	3580			
13		Energia gerada (kWh/mês)	306,5			
14		Tempo de retorno (anos)	2,44			
15						
16						
17		<b>Eólico</b>				
18		Modelo da turbina	Kit 1	Kit 2	Kit 3	Kit 4
19		Quantidade		ARR X 400	Whisper 100	Whisper 200
20		Bateria (Ah)	4	150	1	1
21		Quantidade de baterias	150	4	150	185
22		Inversor (V)	4	175	2	3
23		Custo do sistema (R\$)	2188	175	1141	15327
24		Energia gerada (kWh/mês)	227,0	134,7	134,7	240,2
25		Tempo de retorno (anos)	18,5	17,7	17,7	13,8
26						
27		<b>Fotovoltaico</b>				
28		Modelo da placa			Shell SM110	Shell SM110
29		Quantidade			5	2
30		Bateria (Ah)			36	36
31		Quantidade de baterias			5	2
32		Controlador de carga (A)			10	8
33		Quantidade			1	1
34		Inversor (V)			175	175
35		Quantidade			1	1
36		Custo do sistema (R\$)			10190	4285
37		Energia gerada (kWh/mês)			80,7	32,3
38		Tempo de retorno (anos)			24,9	24,8
39						
40		<b>Custo total (R\$)</b>	3580	24768	25161	23792
41		<b>Energia gerada (kWh/mês)</b>	306,5	533,5	521,9	573,1
42		<b>Tempo de retorno total [anos]</b>	2,44	3,70	10,08	8,59
43		<b>Recursos restantes (R\$)</b>	21420	232	0	1208
44		<b>Recursos adicionais (R\$)</b>	0	0	181	0
45		<b>Energia restante (kWh/mês)</b>	293,5	66,5	76,1	20,9
46		<b>Energia adicional (kWh/mês)</b>	0,0	0,0	0,0	0,0
47						
48		<b>Gerador Estacionário</b>				
49		Modelo	Toçama TC350			
50		Potência nominal (W)	800			
51		Custo do equipamento (R\$)	513			
52		Custo por kWh gerado (R\$/kWh)	2,54			

Figura 57 - Planilha "Saídas"

Essa planilha é dividida da seguinte forma: Há uma parte em que exibe os dados referentes ao sistema solar para aquecimento de água, onde é possível se verificar:

- Quantidade de coletores: a ser utilizada para suprir o aquecimento de água requerido;
- Modelo do coletor: são apresentados os modelos que constam na base de dados do sistema;
- Área da placa (m<sup>2</sup>): área de cada modelo de placa especificado;

- Capacidade do reservatório (L): A capacidade do reservatório é definida pelo volume de água utilizado em um dia na residência;
- Custo do sistema (R\$): custo total do sistema considerando-se o número de placas e o reservatório térmico;
- Energia gerada (kWh/mês): energia gerada pelo sistema mais indicado. Não é necessariamente igual a energia a ser suprida fornecida na planilha de entrada, sendo sempre igual ou superior, desde que haja disponibilidade de recursos.
- Tempo de retorno: calculado em função do custo total do sistema pela energia gerada pelo mesmo, caso essa energia fosse utilizada a partir da rede elétrica.

Outra área da planilha exhibe os dados na forma de *kits*, de modo que cada *kit* pode conter um modelo de turbina eólica ou um modelo de placa fotovoltaica ou ambos combinados. É possível que sejam indicados dois ou mais *kits* para uma determinada situação, ficando a escolha do mais apropriado por conta do usuário. Cada *kit* pode conter um ou mais equipamentos de cada modelo de turbina e/ou de placa fotovoltaica. Os dados de saída dessa área da planilha indicam tanto para a turbina como para a placa fotovoltaica: Modelo, bateria, quantidade de baterias, inversor, custo do sistema (cada sistema separado), energia gerada (por cada sistema separado) e tempo de retorno, também para cada um deles. O sistema fotovoltaico apresenta além dessas saídas, o modelo do controlador de carga (dado pela potência) e a quantidade de controladores.

Abaixo desses itens é apresentado para cada *kit*: o custo total, a energia gerada e o tempo de retorno.

Outro tópico apresenta ainda recursos restantes ou adicionais (R\$) em relação ao recurso disponibilizado inicialmente pelo usuário. Isso para que o programa apresente certa flexibilidade, admitindo um sistema como sendo viável apesar do valor desse sistema ser ligeiramente superior ao valor disponibilizado pelo usuário. Além desse tópico, o programa apresenta ainda a energia restante, que não pôde ser suprida com os recursos disponibilizados pelo usuário ou a energia adicional, que o sistema pode gerar além do que o usuário necessita.

Na terceira e última parte da planilha é apresentado o modelo, potência nominal, custo do equipamento e custo por kWh gerado, para o gerador mais apropriado, definido pelo programa.

## 8 RESULTADOS

### 8.1 Validação do programa

Com o programa descrito a partir de suas planilhas, o próximo passo a ser seguido será o de validar o programa, para determinar se as saídas geradas apresentam-se consistentes.

Para isso, serão simuladas três situações, a saber:

- Situação 1: Intensidade solar elevada e baixa disponibilidade de ventos. Sem a necessidade de gerador estacionário e para valor de recurso disponível de R\$ 30.000;
- Situação 2: Intensidade solar baixa e elevada disponibilidade de ventos. Sem a necessidade de gerador estacionário e para valor de recurso disponível de R\$ 30.000;
- Situação 3: Necessidade de gerador estacionário.

#### 8.1.1 Situação 1

A cidade a ser utilizada como referência é a cidade de Petrolina (9,396° S, 40,499° W) – Bahia, que apresenta as seguintes características, obtidas pelo mapa de ventos (ANEXO A) e pelo site da CRESESB [5]:

- Intensidade solar média: 5,4 (kW/m<sup>2</sup>.dia);
- Velocidade do vento: 5 m/s.

Além disso, têm-se as seguintes características para a residência:

- Tipo de terreno: Terreno cultivado;
- Altura da turbina (caso seja viável): 20 m;
- Gastos com aquecimento de água: 3 banhos por dia com duração de 10 minutos cada banho;
- Total gasto com energia elétrica: 80 kWh/mês
- Total gasto com aquecimento de água: 59 kWh/mês.
- Disponibilidade de recursos: R\$ 30.000

O programa procede então da seguinte forma:

A partir do gasto mensal com aquecimento de água, que nesse caso é somente o chuveiro, e a partir do volume de água gasto, que é de 150 L, o programa determinou, com a base de dados da planilha solar:

Tabela 8 - Saída solar para aquecimento de água situação 1

Solar para aquecimento de água	
Quantidade de coletores	1
Modelo do coletor	Soletrol Max Mini Vertical
Área da placa (m <sup>2</sup> )	1
Capacidade do reservatório (L)	200
Custo do sistema (R\$)	1450
Energia gerada (kWh/mês)	83,8
Tempo de retorno (anos)	3,62

- Volume do reservatório: 200 L, por ser o imediatamente superior ao volume de água gasto por dia, que é de 150 L.

- Coletor: 1 coletor de área 1m<sup>2</sup> Soletrol Max Mini, pois esse coletor é capaz de gerar 87 kWh/mês em aquecimento de água, que é o valor imediatamente superior ao valor gasto com aquecimento de água por esse usuário.

Determinados os equipamentos utilizados no sistema para aquecimento de água, o programa contabilizou um total de R\$ 1.450, com tempo médio de retorno de 3,62 anos. Assim, tem-se ainda para investir um total de R\$ 28.550 com outros sistemas alternativos.

O programa então verifica a viabilidade dos equipamentos eólicos a partir dos dados de entrada fornecidos pelo usuário e disponibilidade de recursos, que agora é de R\$ 28.550.

Tabela 9 - Dados de saída planilha “Eólico” para situação 1

Turbina eólica (com controlador)	Energia gerada (kWh/mês)	Preço total (R\$)	Viável?	Recursos disponíveis (R\$)	Retorno (anos)
AIR X 400	21,88	4509	Não	28550	43,07
Whisper 100	47,90	9404	Não	28550	41,03
Whisper 200	105,35	14137	Não	28550	28,05
Whisper 500	277,19	44780	Não	28550	33,76

As saídas da planilha “Eólico”, mostrada na Tabela 9, indica que o limitante nesse caso não é o recurso financeiro, mas sim a baixa disponibilidade de vento na altura da turbina, cuja velocidade é de 4,2 m/s associado a um fator de rugosidade do terreno de 0,19, o que inviabiliza o sistema, por estar acima dos 20 anos definidos.

Com isso, o programa inviabiliza esse tipo de sistema, verificando então a viabilidade do sistema fotovoltaico.

Na planilha “Foto”, o programa indica a seguinte situação:

Tabela 10 - Dados de saída planilha “Foto” para situação 1

Painel	Energia gerada (kWh/mês)	Preço placa+bateria (R\$)	Retorno (anos)	Viável?
Shell ST5	0,71	380	111,9	Não
Shell ST10	1,48	520	73,4	Não
Shell ST20	2,91	770	55,2	Não
Kyocera KC35	4,64	887	39,9	Não
Shell ST40	5,11	1015	41,5	Não
Kyocera KC45	5,89	1055	37,4	Não
Shell SM50	6,44	1140	37,0	Não
Kyocera KC60	7,06	1329	39,3	Não
ShellSQ80	9,45	1580	35,0	Não
Shell SM110	13,41	1920	29,9	Sim
Kyocera KC120	14,11	2172	32,2	Não

Percebe-se, que, para esse valor de intensidade solar, o modelo Shell SM110 mostra-se viável, por apresentar um tempo de retorno inferior a 30 anos, estipulado no programa. Além disso, o preço de cada conjunto placa mais bateria é inferior à disponibilidade de recursos restante. Dessa maneira, como são necessárias 7 placas para suprir a demanda em questão, que é de 80 kWh/mês, o gasto é de R\$13.910. É importante ressaltar que, se não houvesse recursos suficientes para a aquisição das 7 placas, o sistema indicaria tantas placas quanto fossem possíveis de serem adquiridas com os recursos restantes, indicando ainda que haveria energia restante a ser suprida ainda.

A planilha “Saídas” indica então o único *kit* capaz de ser montado, bem como o custo do sistema fotovoltaico e o seu tempo de retorno, além de indicar o custo total dos sistemas alternativos, que nesse caso consiste em solar para aquecimento de água e fotovoltaico, e o tempo de retorno total, contando os dois sistemas juntos.

A planilha mostra ainda que houve 38,6 kWh/mês de energia adicional fornecida pelo sistema e que restaram ainda R\$ 14.640 em recursos.

Com isso, pôde-se perceber a consistência do programa no que diz respeito ao estudo de viabilidade dos diferentes sistemas, e a coerência da saída gerada pelo mesmo.

Tabela 11 - Dados da planilha “Saídas” para situação 1

Fotovoltaico	
Modelo da placa	Shell SM110
Quantidade	7
Bateria (Ah)	36
Quantidade de baterias	6
Controlador de carga (A)	12
Quantidade	1
Inversor (W)	175
Quantidade	1
Custo do sistema (R\$)	13910
Energia gerada (kWh/mês)	93,9
Tempo de retorno (anos)	29,9
Sistema final	
Custo total (R\$)	15360
Energia gerada (kWh/mês)	177,6
Tempo de retorno total (anos)	18,07
Recursos restantes (R\$)	14640
Energia adicional (kWh/mês)	38,6

### 8.1.2 Situação 2

A cidade a ser utilizada como referência é a cidade de Torres (29,332° S, 47,922° W) - Rio Grande do Sul, que apresenta as seguintes características, obtidas pelo mapa de ventos (ANEXO A) e pelo site da CRESESB [5]:

- Intensidade solar média: 4,37 (kW/m<sup>2</sup>.dia);
- Velocidade do vento: 6,5 m/s.

Além disso, tem-se as mesmas características da situação 1, exceto o total gasto com energia elétrica, por motivos a serem explicados posteriormente, como segue:

- Tipo de terreno: Terreno cultivado;

- Altura da turbina (caso seja viável): 20 m;
- Gastos com aquecimento de água: 3 banhos por dia com duração de 10 min cada banho;
- Total gasto com energia elétrica: 200 kWh/mês
- Total gasto com aquecimento de água: 59 kWh/mês.
- Disponibilidade de recursos: R\$ 30.000

Da mesma maneira como procedido na situação 1, o programa avalia o coletor e o reservatório de água do sistema a ser implementado. Como o tempo e a quantidade de banhos são iguais à situação 1, o programa indicará, como era de se esperar, os mesmos equipamentos, entretanto, com um tempo de retorno de 4,47 anos, superior ao da situação 1, devido a uma intensidade solar mais baixa, e gerando 67,8 kWh/mês, também inferior ao da situação 1 pelo mesmo motivo.

Tabela 12 - Dados de saída planilha "Solar" para a situação 2

Solar para aquecimento de água	
Quantidade de coletores	1
Modelo do coletor	Soletrol Max Mini Vertical
Área da placa (m <sup>2</sup> )	1
Capacidade do reservatório (L)	200
Custo do sistema (R\$)	1450
Energia gerada (kWh/mês)	67,8
Tempo de retorno (anos)	4,47

Determinado o sistema para aquecimento de água mais apropriado, o programa verifica a possível viabilidade o sistema eólico, com a disponibilidade de recursos de R\$ 28.550.

Tabela 13 - Dados de saída planilha “Eólico” para situação 2

Turbina eólica	Energia gerada (kWh/mês)	Preço total (R\$)	Retorno (anos)	Viável?
AIR X 400	45,86	4953	22,57	Não
Whisper 100	106,94	11411	22,30	Não
Whisper 200	202,11	15840	16,38	Sim
Whisper 500	551,56	52677	20,15	Não

Nota-se que apenas o modelo Whisper 200 apresenta tempo de retorno inferior a 20 anos para as condições climáticas do local, sendo portanto essa a única alternativa viável. O total gasto com energia elétrica, 200 kWh/mês, foi alterado pois, embora haja recursos disponíveis e tempo de retorno inferior a 20 anos, o programa assume tal alternativa como sendo inviável caso a energia gerada seja consideravelmente superior à energia necessária para suprir a demanda.

Definido o sistema eólico, o programa então define o sistema fotovoltaico possível de ser implantado.

Tabela 14 - Dados de saída planilha “Foto” para situação 2

Painel	Energia gerada (kWh/mês)	Preço placa+bateria (R\$)	Retorno (anos)	Viável?
Shell ST5	0,57	380	138,3	Não
Shell ST10	1,20	520	90,7	Não
Shell ST20	2,36	770	68,3	Não
Kyocera KC35	3,76	887	49,3	Não
Shell ST40	4,14	1015	51,3	Não
Kyocera KC45	4,77	1055	46,3	Não
Shell SM50	5,21	1140	45,7	Não
Kyocera KC60	5,72	1329	48,6	Não
ShellSQ80	7,65	1580	43,2	Não
Shell SM110	10,86	1920	37,0	Não
Kyocera KC120	11,42	2172	39,7	Não

Nota-se então que, para essa intensidade solar, embora o sistema solar para aquecimento de água seja viável, mesmo com um tempo de retorno mais elevado, o sistema fotovoltaico não o é. Isso porque o tempo de retorno menor dentre as possíveis opções de placas é de 37 anos, superior aos 30 anos estipulados para a vida útil do sistema. Observa-se que o limitante nesse caso não é a disponibilidade de recursos.

Assim, a planilha “Saídas” indicará como sendo viáveis o sistema eólico e o solar para aquecimento de água.

Tabela 15 - Dados da planilha "Saídas" para situação 2

Eólico	Kit 4
Modelo da turbina	Whisper 200
Quantidade	1
Bateria (Ah)	150
Quantidade de baterias	3
Inversor (W)	400
Custo do sistema (R\$)	15840
Energia gerada (kWh/mês)	202,1
Tempo de retorno (anos)	16,4
<b>Sistema final</b>	
Custo total (R\$)	17290
Energia gerada (kWh/mês)	269,9
Tempo de retorno total (anos)	13,39
Recursos restantes (R\$)	12710
Energia adicional (kWh/mês)	10,9

Com a turbina empregada, tem-se um custo de R\$ 14.557, restando ainda um total de R\$ 13.993 em recurso não empregado. Porém, há ainda uma demanda de 36,7 kWh/mês a ser suprida pela rede convencional. O sistema dimensionado possui um tempo de retorno total de 15,05 anos.

Para a condição 2 apresentada, o programa também mostrou-se consistente ao indicar como alternativa a energia eólica, uma vez que a intensidade solar disponível na região é relativamente baixa tornando o sistemas fotovoltaico não viável.

### 8.1.3 Situação 3

A situação 3 visa explorar a característica somente do sistema gerador estacionário. Para isso define-se

- Custo do litro do óleo diesel: R\$ 1,80;
- Custo do litro da gasolina: R\$ 2,40.

A potência a ser gerada deve atender a seguinte demanda:

Tabela 16 – Demanda para situação 3

Gerador estacionário			
Qtidade	Aparelho	Pot (W)	Potência total (W)
2	Carregador de bateria	70	140
1	Computador	150	150
1	Freezer	250	250
1	Geladeira	250	250
1	Impressora	90	90
2	Lâmpada fluorescente compacta (15W)	15	30
2	Lâmpada fluorescente compacta (20W)	20	40
1	Lâmpada incandescente (100W)	100	100
1	Televisão 20"	60	60
<b>Potência total para o gerador estacionário (W)</b>			<b>1110</b>

Assim, os dados de saída da planilha “Gerador” são:

Tabela 17 - Dados da planilha "Gerador" para situação 3

Marca/Modelo	Combustível	Potência nominal (W)	Preço (R\$)	Custo por kWh gerado (R\$/kWh)
Toyama TC950	Gasolina	800	513	2,537
Toyama TC1300	Gasolina	900	1365	2,026
Branco BD2500	Diesel	1800	2432	1,081
Honda EP2500	Gasolina	2300	2631	1,573
Toyama TC3000	Gasolina	2500	2360	1,615
Branco BD4500	Diesel	3500	3424	1,173
Branco BD6500	Diesel	5000	4149,6	1,141

A partir dos geradores disponíveis no banco de dados do sistema, indicado na Tabela 17, o programa verifica qual dos modelos atende a demanda exigida pelo usuário, sendo nesse caso o modelo Branco BD2500, que utiliza diesel como combustível. Para o caso de geradores, a disponibilidade de recursos jamais é um limitante, uma vez que se parte do princípio que o usuário está disposto a pagar o valor do gerador adequado à sua exigência.

Percebe-se também que o custo por kWh gerado para o gerador escolhido é de 1,081 R\$/kWh, ou seja, quase 3 vezes superior ao custo de energia da rede. Por esse motivo, o gerador se mostra viável para residências somente em ocasiões em que o usuário não quer, ou não pode, ficar sem energia elétrica caso não haja disponibilidade da mesma na rede.

## 8.2 Viabilidade dos atuais sistemas de geração de energia

### 8.2.1 Casa de campo ou praia alimentada por placas fotovoltaicas

Com o programa desenvolvido, pode-se avaliar a viabilidade econômica de alguns sistemas de geração de energia alternativa disponíveis atualmente no mercado.

Um exemplo é um sistema fotovoltaico para geração de energia que pode ser utilizado para uma casa no campo ou na praia. O sistema possibilita alimentar a

maioria dos aparelhos elétricos de uma residência, não sendo recomendável para ar condicionado e chuveiro elétrico.

O sistema tem capacidade média de geração de 127 kWh/mês, sendo composto pelos seguintes itens:

- 16 painéis solares modelo SQ75, com capacidade de geração de 75 W cada painel;
- 1 controlador de carga C40 com mostrador digital CM;
- 2 inversores Xpower 3000 plus;
- 14 Baterias 12 V de 185 Ah, formando banco de 12 V e 2590 Ah.

Esse sistema, comercializado pela Sol & Vento Energia Alternativa [14], tem uma autonomia de 5 dias, ou seja, com as baterias completamente carregadas, alimenta a residência por 5 dias sem a necessidade de luz solar. O custo total desse *kit* para o consumidor é de R\$ 42.458, o equivalente a 141,5 salários mínimos.

Dado o valor do equipamento e a capacidade em kWh/mês de geração de energia desse sistema, pode-se calcular o tempo de retorno do capital investido, não levando em consideração o possível rendimento desse capital investido em uma poupança, por exemplo.

Para um gasto mensal de 127 kWh, o valor da energia da rede elétrica é de R\$ 0,2872 por kWh, mais uma taxa de PIS/COFINS que varia mensalmente, mas que atualmente está em média 5,5 %, além da tarifa de ICMS, sobre o valor efetivamente gasto (kWh utilizado x valor do kWh). Assim, tem-se uma conta mensal de:

$$Total = 0,2872 \cdot 127 \cdot (1 + 0,055 + 0,33) = R\$ 50,50$$

A partir desse valor, pode-se determinar o tempo de retorno do capital investido, como se segue:

$$Tempo = \frac{42458}{50,50 \cdot 12} = 70 \text{ anos}$$

Levando-se em consideração que a maior garantia dentre os itens do *kit* é a dos painéis solares que são de 30 anos, é possível que o custo com manutenção de equipamentos seja tal que não seja possível retornar o capital investido nesse sistema.

Percebe-se então a inviabilidade atual desse sistema, em função do seu alto valor de investimento e da baixa quantidade de energia gerada.

Dessa maneira, a implantação desse sistema só seria viável em locais onde não existisse energia elétrica convencional da rede.

#### **8.2.1.1 Solução por simulação a partir do programa**

Utilizou-se o programa desenvolvido para comparar o *kit* descrito acima com as possíveis saídas do programa. Para isso foram criadas situações hipotéticas, a saber:

- Situação 1: intensidade solar de  $6 \text{ kW/m}^2$ .dia e ventos de  $4 \text{ m/s}$ ;
- Situação 2: intensidade solar de  $4 \text{ kW/m}^2$ .dia e ventos de  $8 \text{ m/s}$ ;

Ambas as situações foram simuladas para uma altura da turbina eólica de 15 m, considerando um terreno com poucas árvores. Além disso, não foram considerados na demanda de  $127 \text{ kWh/mês}$  gastos com aquecimento de água, visto que o *kit* do item anterior não é recomendado para uso em chuveiros. Não será adotado o critério de recursos disponíveis, ou seja, haverá recursos suficientes para qualquer configuração.

Para a situação 1, o programa apresentou então como possível alternativa:

Tabela 18 - Saída da situação 1

Fotovoltaico	
Modelo da placa	Shell SM110
Quantidade	10
Bateria (Ah)	36
Quantidade de baterias	10
Controlador de carga (A)	20
Quantidade	1
Inversor (W)	175
Quantidade	1
Energia gerada (kWh/mês)	149,0
Custo total (R\$)	19784
Energia gerada (kWh/mês)	149,0
Tempo de retorno total (anos)	27,74
Energia adicional (kWh/mês)	22,0

Nota-se que o tempo de retorno resultou num valor muito menor que os 70 anos do *kit* vendido comercialmente. Isto pode ser explicado devido ao fato de o *kit* utilizar placas de 75 W, encarecendo o sistema. Por outro lado, o *kit* é dimensionado de forma a possuir uma autonomia de 5 dias, sendo necessário um banco de baterias maior. O programa desenvolvido, por ser destinado a casos em que há energia da rede convencional disponível, não possui essa opção.

Já para a situação 2, a saída do programa é:

Tabela 19 - Saída da situação 2

Eólico	
Modelo da turbina	Whisper 100
Quantidade	1
Bateria (Ah)	175
Quantidade de baterias	2
Inversor (W)	300
Custo total (R\$)	11831
Energia gerada (kWh/mês)	140,3
Tempo de retorno total (anos)	17,6
Energia adicional (kWh/mês)	13,3

Tornando o sistema eólico viável pelo aumento da velocidade do vento, o retorno do investimento dá-se em 17,6 anos, melhorando ainda mais o resultado da situação anterior.

Uma terceira situação poderia ser imaginada, com intensidade solar e vento favoráveis, mas observa-se que com o sistema eólico sendo viável, este supre a demanda energética, tornando o sistema fotovoltaico dispensável.

### 8.2.2 Geladeira alimentada por turbina eólica x placa fotovoltaica

A fim de evidenciar a viabilidade dos atuais sistemas de geração de energia alternativa, e de determinar o mais viável dentre eles, para certas condições de velocidade do vento e intensidade solar, será feita nesse item uma comparação entre o sistema eólico e o fotovoltaico para alimentar uma geladeira, a ser instalada em um local onde não haja a possibilidade de alimentação pela rede elétrica.

O *kit* com alimentação por energia eólica é composto pelos seguintes equipamentos:

- 1 Turbina Eólica AIR X 400, geração em 12 Vcc ou 24 Vcc;
- 1 Refrigerador RE-240 (240 litros) - 12/24Vcc;
- 3 Baterias 12 V de 150 Ah;

Custo: R\$ 7.906

O *kit* com alimentação por energia fotovoltaica é composto pelos seguintes equipamentos:

- 07 Painéis Solares Kyocera modelo KC 45/ SM 46;
- 01 Refrigerador RE-240 (240 litros) - 12/24Vcc;
- 03 Baterias 12V-150 Ah;

Custo: R\$ 11.065

Ambos os *kits*, comercializados pela Sol & Vento Energia Alternativa [14], devem gerar potência de 250 W, necessários para manter a geladeira em funcionamento.

A partir desses dados, inseriu-se no programa uma condição que representasse a situação descrita até agora, ou seja, na planilha gastos colocou-se somente 1 geladeira, sem uso de equipamento para aquecimento de água. Para restringir primeiramente o uso de energia solar, colocou-se valor 1 em intensidade solar, obrigando o programa verificar como viável apenas o eólico. Inseriram-se então valores de velocidade do vento de 6 a 9 m/s na altura da turbina, verificando-se o tempo de retorno para cada velocidade do vento.

Por outro lado, inseriram-se valores de intensidade solar de 4 a 7 kW/m<sup>2</sup>.dia, para velocidade do vento agora de 1 m/s, para obrigar o programa a inviabilizar o sistema eólico.

Dessa maneira, pode-se obter o tempo de retorno para cada valor de intensidade solar, lembrando que se trata de um tempo de retorno relativo, visto que a vida útil dos equipamentos é diferente. É interessante notar que os equipamentos utilizados pelo programa e o valor do equipamento obtido, se descontado o preço da geladeira, é próximo ao valor de venda anunciado.

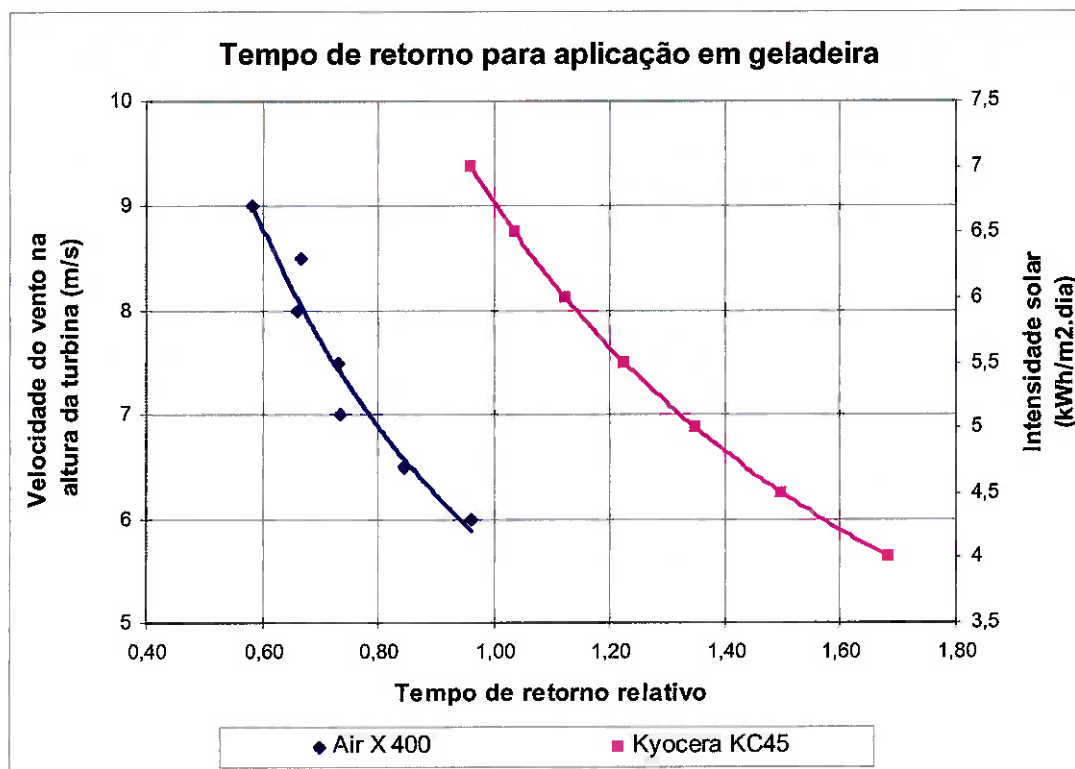


Figura 58 - Tabela de retorno comparativo

O gráfico acima mostra o tempo de retorno de cada um dos sistemas em separado. Pode-se observar que o sistema fotovoltaico possui tempo de retorno relativo entre 0,95 e 1,7 da vida útil do equipamento, enquanto que o tempo de retorno do eólico está entre 0,6 e 1 da vida útil. Ou seja, por ter um custo relativamente maior, o sistema fotovoltaico tem um tempo de retorno superior ao sistema eólico, o que mostra a vantagem em se usar o sistema solar em comparação ao sistema eólico apenas em locais onde não há disponibilidade de energia da rede elétrica, além de intensidade de sol relativamente alta (superior a 6 kWh/m<sup>2</sup>.dia) e velocidade média do vento muito baixa (inferior a 4 m/s). Já para as demais possibilidades, é mais vantajoso o uso de sistema eólico.

### 8.3 Comparativo entre sistema eólico e fotovoltaico

Para comparar o efeito das condições climáticas (velocidade do vento e intensidade solar) sobre o tempo de retorno, foi traçado o gráfico a seguir, para um equipamento de cada sistema, utilizando o programa desenvolvido. Foi utilizado um tempo de retorno relativo, visto que a vida útil de cada equipamento é diferente.

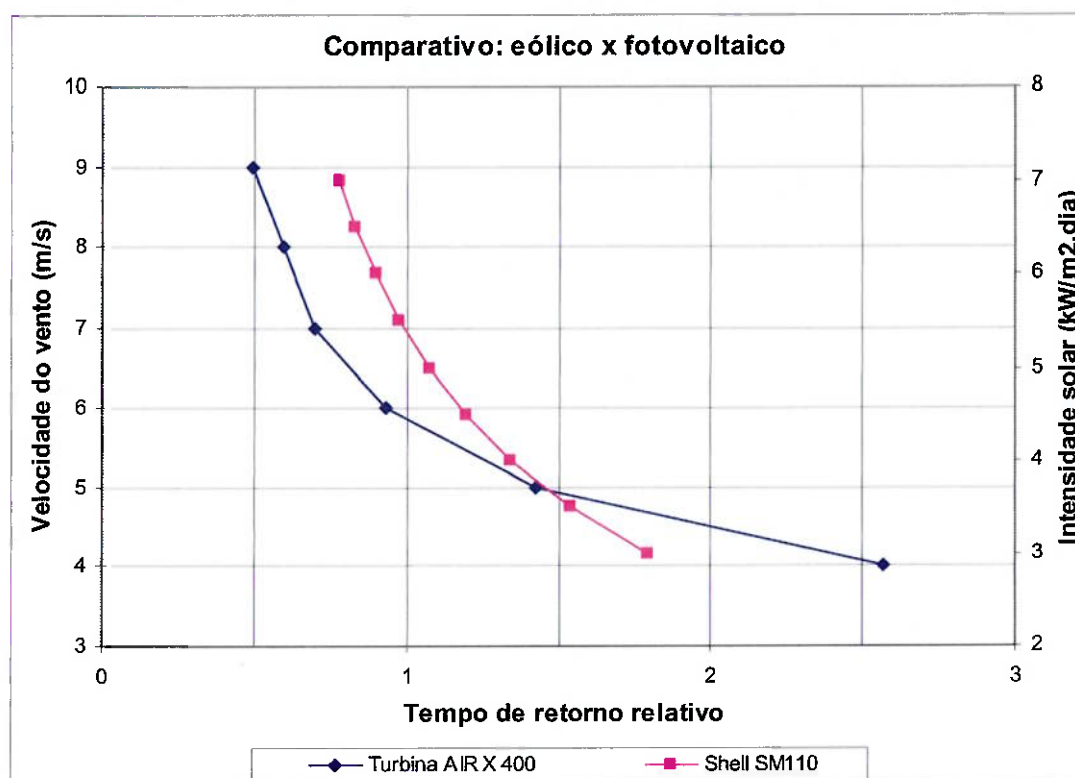


Figura 59 - Comparativo sistemas eólico e fotovoltaico

Assim, por exemplo, para um tempo de retorno relativo igual a 1, ou seja, o retorno do investimento se dá exatamente no tempo de vida útil do equipamento, é necessário que o local tenha intensidade solar de 5,5 kW/m<sup>2</sup>dia e ventos com velocidade média de aproximadamente 5,8 m/s. Dessa maneira, o gráfico permite saber qual dos dois aparelhos é mais conveniente para ser instalado em uma determinada região, da seguinte forma: Verificando-se que a velocidade média do vento no local é de, por exemplo, 5,8 m/s, então, se houver na região intensidade solar média inferior a aproximadamente 5,5 kW/m<sup>2</sup>dia, é mais interessante utilizar a turbina eólica, enquanto que se houver intensidade solar média superior, é mais

interessante utilizar o sistema fotovoltaico, caso o critério de escolha seja o tempo de retorno.

#### 8.4 Comparativo de energia gerada

Da mesma forma que o item anterior, agora comparando a quantidade de energia gerada por cada sistema.

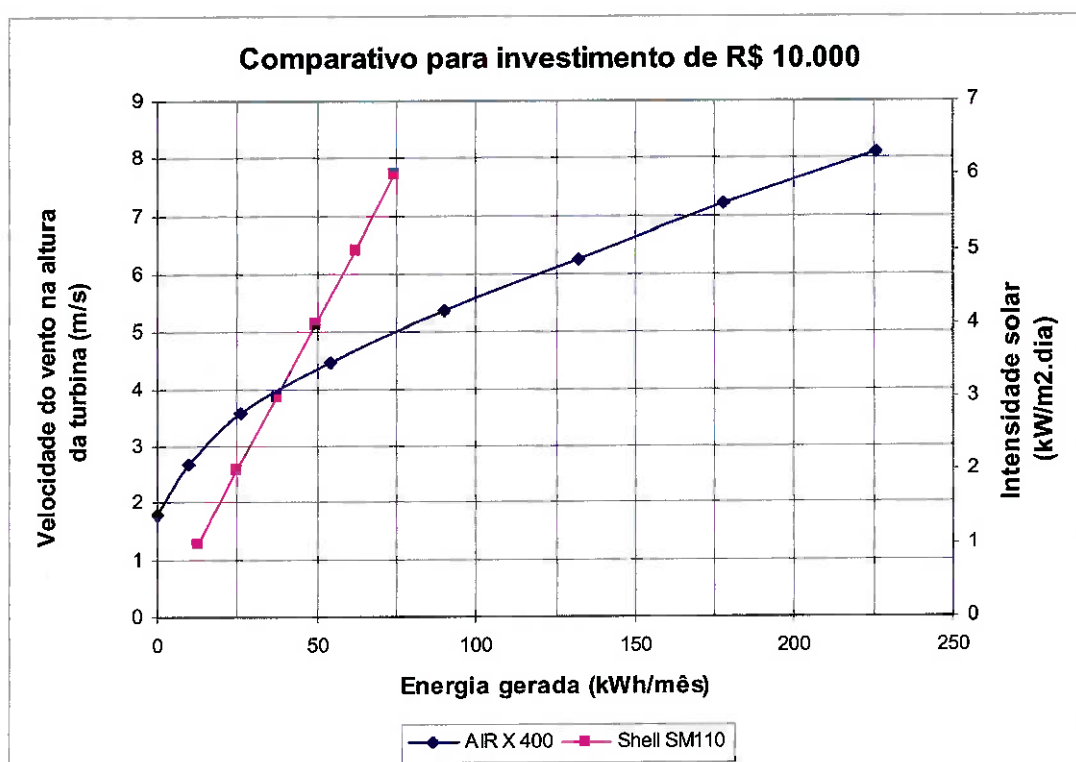


Figura 60 - Comparativo de energia gerada

Diferentemente do gráfico anterior apresentado, em que os diferentes sistemas são analisados em função do tempo de retorno, o gráfico acima, gerado a partir do programa desenvolvido, permite avaliar os mesmos dois modelos, um de turbina e o outro de placa fotovoltaica, em função da energia gerada por cada um deles, para um valor investido de R\$10.000. Pelo gráfico percebe-se que a turbina a 5 m/s gera a mesma quantidade de energia que a placa fotovoltaica a uma intensidade solar média de 6 kW/m².dia. Pode-se perceber também que com um investimento de R\$10.000 pode-se gerar no máximo 75 kWh/mês utilizando-se o sistema

fotovoltaico, enquanto que com o sistema eólico pode-se gerar até 225 kWh/mês. Esses valores têm como base os índices máximos de intensidade solar e velocidade do vento no Brasil.

## 9 CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento do programa que permite calcular os sistemas de geração de energia mais apropriados para a configuração de entrada definida pelo usuário, foi possível avaliar algumas características atuais dos sistemas em separado e dos sistemas operando em conjunto.

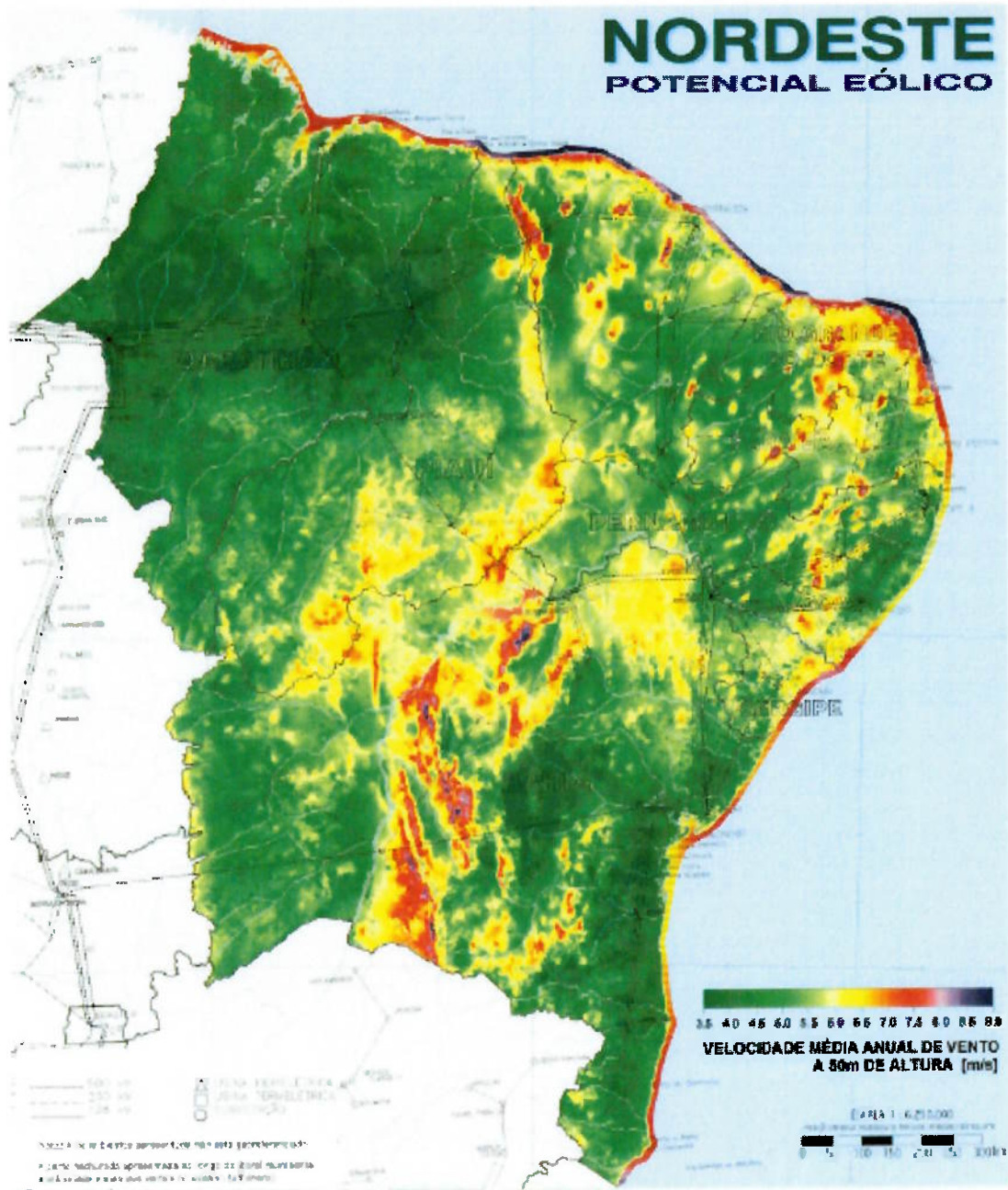
Para diferentes entradas do programa, observou-se que mesmo com intensidade solar relativamente baixa para as médias nacionais, que são da ordem de 6 kW/m<sup>2</sup>dia, o sistema solar para aquecimento de água se torna viável, tendo em geral, o menor tempo de retorno dentre os quatro atuais sistemas alternativos de geração de energia. Esse fato pode ser comprovado na prática pelo fato de os aquecedores solares serem o sistema, dentre os quatro citados, de maior comercialização e diversidade de fabricantes.

A partir do mesmo programa, e de comparativos feitos a partir de valores de mercado dos geradores eólicos e fotovoltaicos, é possível notar que os geradores fotovoltaicos, em geral, apesar de terem uma garantia de 30 anos para as placas solares, representam o terceiro sistema mais viável, tendo tempo de retorno superior ao sistema de geração eólico. Esse fato foi comprovado na prática a partir de simulações realizadas que comprovaram que, em geral, o tempo de retorno da turbina eólica é inferior ao tempo de retorno da célula fotovoltaica, isso porque, além do custo de uma placa ser bastante elevado, se comparado a componentes dos demais sistemas, a energia gerada é relativamente baixa.

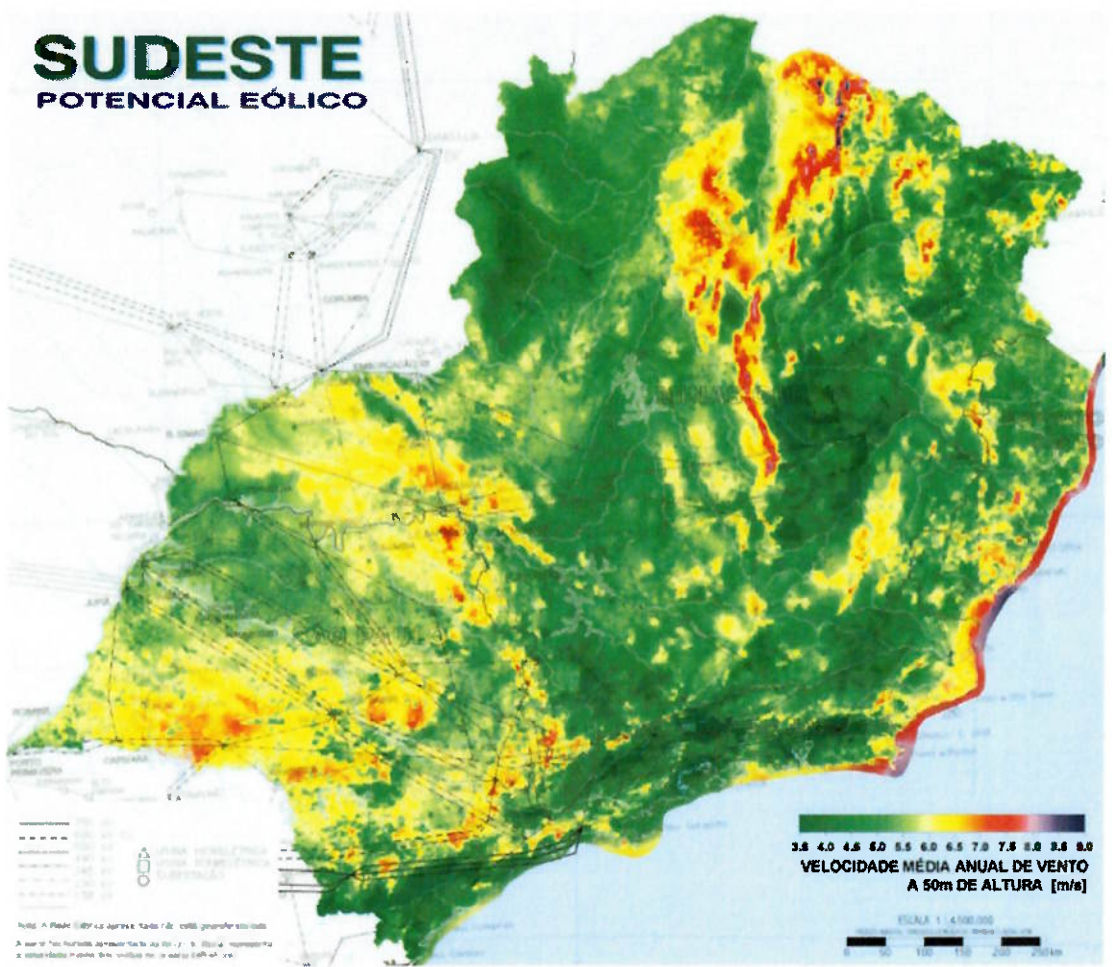
Dentre as quatro alternativas, a única que se apresenta inviável atualmente para residências é o gerador estacionário, que apresenta custo de operação por kWh gerado, superior em até 5 vezes o custo da rede. Esses sistemas, quando utilizados em residência, possuem aplicação especial, como nos casos em que a pessoa não pode ficar sem energia, mesmo com a falta de energia na rede convencional.

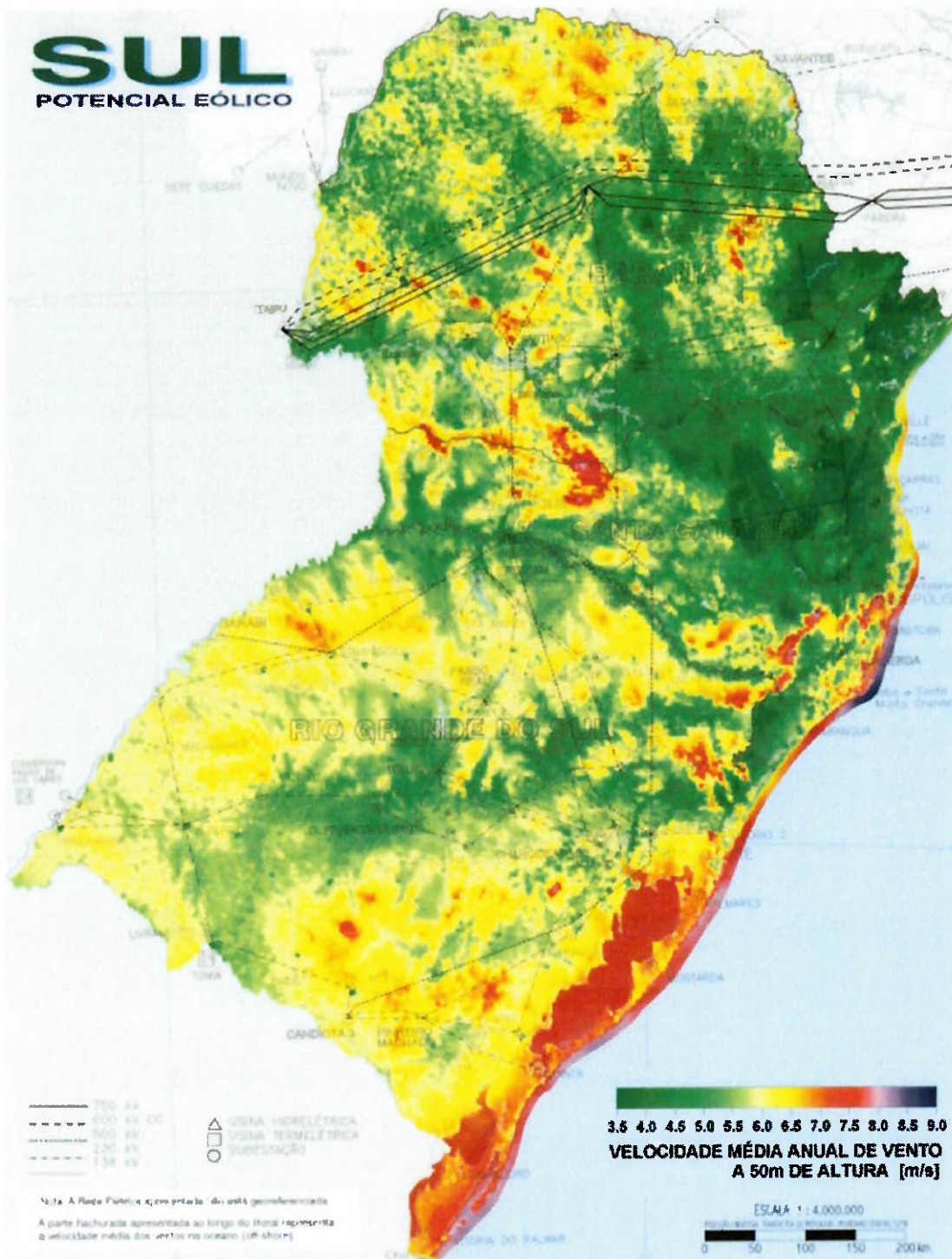
Este presente trabalho permitiu estudar a atual situação, no que diz respeito à viabilidade técnica e econômica dos sistemas alternativos para geração de energia. Isso foi possível graças ao desenvolvimento de um programa, anteriormente descrito, que se mostrou coerente no processo de determinação do melhor sistema de energia alternativa em função da especificação do modelo requerido pelo usuário.











## ANEXO B – Códigos de programação

```

sub eolico()

'dimensionamento da bateria
i = 7
j = 3
k = 1

gera = Worksheets("Eólico").Cells(i, 7)
bat = Worksheets("Equipamentos").Cells(j, 2)

'while gera <> ""
while gera > bat
  If bat <> 0 Then
    bat = k * Worksheets("Equipamentos").Cells(j, 2)
    j = j + 1
  Else
    j = 3
    bat = Worksheets("Equipamentos").Cells(j, 2)
    k = k + 1
  End If
wend
Worksheets("Eólico").Activate
Cells(i, 8) = bat / k
Cells(i, 9) = k
i = i + 1
gera = Cells(i, 7)
wend

'dimensionamento do inversor
i = 7
j = 16
pot = Worksheets("Eólico").Cells(i, 6)
inversor = Worksheets("Equipamentos").Cells(j, 1)

while pot <> 0
  while pot > inversor
    j = j + 1
    inversor = Worksheets("Equipamentos").Cells(j, 1)
  wend
  Worksheets("Eólico").Cells(i, 17) = inversor
  i = i + 1
  j = 16

```

```

    inversor = worksheets("Equipamentos").Cells(j, 1)
    pot = worksheets("Eólico").Cells(i, 6)
wend

'dimensionamento das placas
m = 7
gasto = 1.2 * worksheets("Entradas").Cells(27, 2)
teste = worksheets("Eólico").Cells(m, 13)
recursos = worksheets("Entradas").Cells(17, 2) -
worksheets("Solar").Cells(21, 1)

worksheets("Eólico").Range("N7:n10").ClearContents

while teste <> ""
  If teste = "Sim" Then
    k = 1
    gera = worksheets("Eólico").Cells(m, 5)
    custo = worksheets("Eólico").Cells(m, 11)
    while gasto > gera And custo < recursos
      k = k + 1
      gera = k * worksheets("Eólico").Cells(m, 5)
      custo = k * worksheets("Eólico").Cells(m, 11)
    wend
    If k = 1 Then
      worksheets("Eólico").Cells(m, 14) = ""
    Else
      worksheets("Eólico").Cells(m, 14) = k - 1
    End If
    m = m + 1
    teste = worksheets("Eólico").Cells(m, 13)
  Else
    m = m + 1
    teste = worksheets("Eólico").Cells(m, 13)
  End If
wend

worksheets("Saídas").Activate
End Sub

Sub foto()

Dim i, j As Integer

i = 3
j = 3

```

```

k = 1

'dimensionamento da bateria
gera = worksheets("Foto").Cells(i, 6)
bat = worksheets("Equipamentos").Cells(j, 2)

while gera <> ""
  while gera > bat
    If bat <> 0 Then
      bat = worksheets("Equipamentos").Cells(j, 2)
      j = j + 1
    Else
      j = 3
      bat = worksheets("Equipamentos").Cells(j, 2)
      k = k + 1
    End If
  Wend
  worksheets("Foto").Cells(i, 7) = bat
  i = i + 1
  gera = worksheets("Foto").Cells(i, 6)
wend

worksheets("Foto").Range("k3:o13").ClearContents

'teste para ver se o eolico ja supre o necessario
worksheets("Eólico").Activate
If cells(7, 15) > 0 And cells(8, 15) > 0 And cells(9, 15) > 0
And cells(10, 15) > 0 Then
  m = 3
  viavel = worksheets("Foto").Cells(3, 10)
  recursos = worksheets("Eólico").Cells(10, 16)

  If worksheets("Eólico").Cells(11, 14) = 0 Then
    while viavel <> ""
      If viavel = "sim" Then
        quant1 = recursos / worksheets("Foto").Cells(m, 8)
        quant2 = worksheets("Eólico").Cells(7, 15) * 1.2 /
worksheets("Foto").Cells(m, 4)
        If quant1 > quant2 Then
          worksheets("Foto").Cells(m, 11) = Round(quant2 - 0.5, 0)
        Else
          worksheets("Foto").Cells(m, 11) = Round(quant1 - 0.5, 0)
        End If
      End If
    End If
    m = m + 1
  End While
End If

```

```

viavel = worksheets("Foto").Cells(m, 10)
Wend
Else
  If worksheets("Eólico").Cells(7, 15) > 0 Then
    If worksheets("Eólico").Cells(7, 14) <> 0 Then
      while viavel <> ""
        If viavel = "Sim" Then
          recursos = worksheets("Eólico").Cells(7, 16)
quant1 = recursos / worksheets("Foto").Cells(m, 8)
quant2 = worksheets("Eólico").Cells(7, 15) * 1.2 /
worksheets("Foto").Cells(m, 4)
          If quant1 > quant2 Then
            worksheets("Foto").Cells(m, 12) = Round(quant2 - 0.5, 0)
          Else
            worksheets("Foto").Cells(m, 12) = Round(quant1 - 0.5, 0)
          End If
        End If
        m = m + 1
        viavel = worksheets("Foto").Cells(m, 10)
      Wend
    End If
  End If
  m = 3
  viavel = worksheets("Foto").Cells(m, 10)
  If worksheets("Eólico").Cells(8, 15) > 0 Then
    If worksheets("Eólico").Cells(8, 14) <> 0 Then
      while viavel <> ""
        If viavel = "Sim" Then
          recursos = worksheets("Eólico").Cells(8, 16)
          quant1 = recursos / worksheets("Foto").Cells(m, 8)
          quant2 = worksheets("Eólico").Cells(8, 15) * 1.2 /
worksheets("Foto").Cells(m, 4)

          If quant1 > quant2 Then
            worksheets("Foto").Cells(m, 13) = Round(quant2 - 0.5, 0)
          Else
            worksheets("Foto").Cells(m, 13) = Round(quant1 - 0.5, 0)
          End If
        End If
        m = m + 1
        viavel = worksheets("Foto").Cells(m, 10)
      Wend
    End If
  End If
  m = 3

```

```

viavel = worksheets("Foto").Cells(m, 10)
If worksheets("Eólico").Cells(9, 15) > 0 Then
  If worksheets("Eólico").Cells(9, 14) <> 0 Then
    While viavel <> ""
      If viavel = "Sim" Then
        recursos = worksheets("Eólico").Cells(9, 16)
        quant1 = recursos / worksheets("Foto").Cells(m, 8)
        quant2 = worksheets("Eólico").Cells(9, 15) * 1.2 /
Worksheets("Foto").Cells(m, 4)
        If quant1 > quant2 Then
          worksheets("Foto").Cells(m, 14) = Round(quant2 - 0.5, 0)
        Else
          worksheets("Foto").Cells(m, 14) = Round(quant1 - 0.5, 0)
        End If
      End If
      m = m + 1
      viavel = worksheets("Foto").Cells(m, 10)
    Wend
  End If
End If
m = 3
viavel = worksheets("Foto").Cells(m, 10)
If worksheets("Eólico").Cells(10, 15) > 0 Then
  If worksheets("Eólico").Cells(10, 14) <> 0 Then
    While viavel <> ""
      If viavel = "Sim" Then
        recursos = worksheets("Eólico").Cells(10, 16)
        quant1 = recursos / worksheets("Foto").Cells(m, 8)
        quant2 = worksheets("Eólico").Cells(10, 15) * 1.2 /
Worksheets("Foto").Cells(m, 4)
        If quant1 > quant2 Then
          |worksheets("Foto").Cells(m, 15) = Round(quant2 - 0.5, 0)
        Else
          worksheets("Foto").Cells(m, 15) = Round(quant1 - 0.5, 0)
        End If
      End If
      m = m + 1
      viavel = worksheets("Foto").Cells(m, 10)
    Wend
  End If
End If
End If
worksheets("Saídas").Activate
End Sub

```

```
sub gerador()

worksheets("Saídas").Range("b49:b52").ClearContents

i = 2
gasto = 1.2 * worksheets("Entradas").Cells(30, 2)
gera = worksheets("Gerador").Cells(i, 4)

while gasto > gera
    i = i + 1
    gera = worksheets("Gerador").Cells(i, 4)
wend

If gasto = 0 Then
    worksheets("Saídas").Activate
    Cells(49, 2) = ""
    Cells(50, 2) = ""
    Cells(51, 2) = ""
    Cells(52, 2) = ""
Else
    worksheets("Saídas").Activate
    Cells(49, 2) = worksheets("Gerador").Cells(i, 1)
    Cells(50, 2) = worksheets("Gerador").Cells(i, 4)
    Cells(51, 2) = worksheets("Gerador").Cells(i, 5)
    Cells(52, 2) = worksheets("Gerador").Cells(i, 7)
End If
End Sub

sub solar()

'dimensionamento do boiler
i = 12
k = 1

consumo = worksheets("Entradas").Cells(29, 2)
boiler = worksheets("Solar").Cells(i, 2)

while consumo > boiler
    If worksheets("Solar").Cells(i, 2) <> "" Then
        i = i + 1
        boiler = k * worksheets("Solar").Cells(i, 2)
    Else
        i = 12
        k = k + 1
    End If
wend
```

```

End If
Wend

If worksheets("Entradas").Cells(29, 2) = 0 Then
    worksheets("Saídas").Cells(11, 2) = 0
Else
worksheets("Saídas").Cells(11, 2) = k * worksheets("Solar").Cells(i,
2)
End If

'dimensionamento das placas
j = 3
m = 1

gera = worksheets("Solar").Cells(j, 5)
gasto = worksheets("Entradas").Cells(26, 2)
custo = worksheets("Solar").Cells(j, 3) + k *
worksheets("Solar").Cells(i, 3)

while gera < gasto And custo < worksheets("Entradas").Cells(17, 2)
    If worksheets("Solar").Cells(j, 5) <> "" Then
        j = j + 1
    Else
        j = 3
        m = m + 1
    End If
    custo = worksheets("Solar").Cells(j, 3) + k *
worksheets("Solar").Cells(i, 3)
    gera = m * worksheets("Solar").Cells(j, 5)
wend

If worksheets("Entradas").Cells(26, 2) = 0 Then
    worksheets("Saídas").Cells(8, 2) = 0
    worksheets("Saídas").Cells(9, 2) = 0
    worksheets("Saídas").Cells(10, 2) = 0
Else
    worksheets("Saídas").Cells(8, 2) = m
    worksheets("Saídas").Cells(9, 2) =
worksheets("Solar").Cells(j, 1)
    worksheets("Saídas").Cells(10, 2) =
worksheets("Solar").Cells(j, 2)
    worksheets("Saídas").Cells(13, 2) = gera
End If

worksheets("Saídas").Activate

```

```
End Sub
```

```
Sub saidas()
```

```
Worksheets("Saídas").Range("b18:f38").ClearContents
```

```
i = 7
```

```
j = 3
```

```
viavel1 = worksheets("Eólico").Cells(7, 13)
```

```
While viavel1 <> ""
```

```
    quant = worksheets("Eólico").Cells(i, 14)
```

```
    If quant <> 0 Then
```

```
        Worksheets("Saídas").Cells(18, j) = worksheets("Eólico").Cells(i, 1)
```

```
        Worksheets("Saídas").Cells(19, j) = worksheets("Eólico").Cells(i, 14)
```

```
        Worksheets("Saídas").Cells(20, j) = worksheets("Eólico").Cells(i, 8)
```

```
        Worksheets("Saídas").Cells(21, j) = worksheets("Eólico").Cells(i, 9) * Worksheets("Eólico").Cells(i, 14)
```

```
        Worksheets("Saídas").Cells(22, j) = worksheets("Eólico").Cells(i, 17)
```

```
        Worksheets("Saídas").Cells(23, j) = worksheets("Eólico").Cells(i, 11) * Worksheets("Eólico").Cells(i, 14)
```

```
        Worksheets("Saídas").Cells(24, j) = worksheets("Eólico").Cells(i, 5) * Worksheets("Eólico").Cells(i, 14)
```

```
        Worksheets("Saídas").Cells(25, j) = worksheets("Eólico").Cells(i, 12)
```

```
    End If
```

```
    i = i + 1
```

```
    j = j + 1
```

```
    viavel1 = worksheets("Eólico").Cells(i, 13)
```

```
Wend
```

```
k = 16
```

```
m = 3
```

```
n = 11
```

```
a = 2
```

```
melhor = worksheets("Foto").Cells(14, k)
```

```
while melhor <> ""
```

```
    If melhor <> 0 Then
```

```
        retorno2 = worksheets("Foto").Cells(m, 9)
```

```
        while retorno2 <> ""
```

```
            If melhor = retorno2 Then
```

```
                worksheets("Saídas").Activate
```

```

Cells(28, a) = Worksheets("Foto").Cells(m, 1)
Cells(29, a) = Worksheets("Foto").Cells(m, n)
Cells(30, a) = Worksheets("Foto").Cells(m, 7)
Cells(31, a) = Worksheets("Foto").Cells(m + 40, n)
Cells(32, a) = Worksheets("Foto").Cells(m + 27, n)
Cells(33, a) = Worksheets("Foto").Cells(m + 27, n + 5)
Cells(34, a) = Worksheets("Foto").Cells(m + 14, n)
Cells(35, a) = 1
Cells(36, a) = Worksheets("Foto").Cells(m + 53, n)
Cells(37, a) = Worksheets("Foto").Cells(m, 4) *
Worksheets("Foto").Cells(m, n)
Cells(38, a) = Worksheets("Foto").Cells(m, 9)
End If
m = m + 1
retorno2 = Worksheets("Foto").Cells(m, 9)
Wend
End If
k = k + 1
melhor = Worksheets("Foto").Cells(14, k)
a = a + 1
m = 3
n = n + 1
Wend

Worksheets("Saídas").Activate
End Sub

Sub Geral()

Application.Run "calculos.xls!Solar"
Application.Run "calculos.xls!Eolico"
Application.Run "calculos.xls!Foto"
Application.Run "calculos.xls!Gerador"
Application.Run "calculos.xls!saidas"

End Sub

```

## 10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AGRAUPE MOTORES. Disponível em: <http://agraupe.com/produtos.php>
- [2] BRANCO PRODUTOS. Disponível em: <http://www.branco-produtos.com.br/>
- [3] CARVALHO, P. **Geração eólica**. Imprensa Universitária, 2003.
- [4] CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito). **Energia eólica – Princípios e aplicações**. Tutorial.
- [5] CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito). Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/sundatn.htm>
- [6] DANISH WIND INDUSTRY ASSOCIATION. **Wind Power**. Disponível em: <http://www.windpower.org/en/core.htm>.
- [7] GOLDING, E. **The generation of electricity by wind power**. John Wiley, 1976.
- [8] KREIDER J.F.; KREITH F. **Solar Energy Handbook**. Ed. McGraw Hill, New York, 1979.
- [9] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Atlas do potencial eólico brasileiro**. Brasília, 2001
- [10] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional 2004**. Brasília, Brasil. 2005.
- [11] PATEL M. R. **Wind and Solar Power Systems**. Ed. CRC Press, New York, 1999

[12] SEINFRA (Secretaria da Infra-Estrutura do Governo do Estado do Ceará).  
Estado do Ceará: **Atlas do Potencial Eólico**. 2001.

[13] SOLETROL AQUECEDORES DE ÁGUA. Disponível em:  
<http://www.soletrol.com.br/>

[14] SOL E VENTO ENERGIA ALTERNATIVA. Disponível em:  
<http://www.energia-alternativa.com.br/>