



**ESCOLA POLITÉCNICA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
DE ENERGIA E AUTOMAÇÃO ELÉTRICAS**

**POSSIBILIDADES DE INSERÇÃO DA
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NA
REGIÃO DO MÉDIO PARANAPANEMA**

RELATÓRIO DO PROJETO DE FORMATURA

**DAVI JOSÉ FERREIRA SQUAIELLA
FÁBIO SISMOTTO EL HAGE**

DATA : 7 DE DEZEMBRO DE 1999

**ORIENTADOR: MIGUEL EDGAR MORALES UDAETA
COORDENADOR: PROF. DR. LUIZ CLÁUDIO RIBEIRO GALVÃO**

V.1
revisão
prof.

Sumário

Sumário	I
Sumário de Figuras e Tabelas	II
Resumo	1
Abstract	2
Capítulo 1 - Introdução	3
1.1 Considerações Iniciais	3
1.2 Objetivos	6
1.3 Metodologia	6
Capítulo 2 - A Região do Médio Paranapanema	8
2.1 Posição Geográfica e Informações Iniciais	8
2.2 Considerações dos potenciais energéticos	15
2.3 Avaliação dos recursos disponíveis e classificação	19
2.4 Características sócio-econômicas e culturais	21
2.5 Desejos iniciais da região com condições de mercado em geral	24
2.6 A visita ao CIERGA na cidade de Assis	24
Capítulo 3 - Energia Solar	28
3.1 Introdução	28
3.2 Energia Solar Fotovoltaica	30
3.3 Módulo e Painel Fotovoltaico	36
Capítulo 4 - Sistemas Fotovoltaicos	38
4.1 Sistemas Isolados da Rede Elétrica Convencional	38
4.2 Bombeamento Fotovoltaico	42
4.3 Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica	46
4.4 Pesquisa Realizada Pelo IEE Sobre Sistemas Fotovoltaicos	48
Capítulo 5 - Análise Econômico-Financeira e Planejamento do Recurso Aplicado à Região do MPP	52
Capítulo 6 - Conclusões e Considerações Finais	60
Capítulo 7 - Bibliografia	62
ANEXO I - Estimativa de Consumo Para um Sistema Isolado	65

Sumário de Figuras e Tabelas

Figura 2.1.1 - Posição Geográfica do Médio Paranapanema	8
Tabela 2.1.1 - Comparação do consumo de energia elétrica no MPP e a cidade de São Paulo	10
Tabela 2.1.2 - Informações populacionais sobre as cidades do Médio Paranapanema.....	10
Figura 2.1.2 - Igreja e Rua Rui Barbosa no Centro da Cidade de Assis.....	11
Figura 2.1.3 - Casas do Centro da Cidade de Assis	12
Figura 2.1.4 - Plantação de Trigo na Região do Médio Paranapanema	12
Figura 2.1.5 - Plantação de Milho na Região do Médio Paranapanema.....	13
Figura 2.1.6 - Lado Esquerdo (Plantação de Cana de Açúcar na Região do Médio Paranapanema).....	13
Lado Direito Superior (Caminhão Recolhendo Cana).....	13
Lado Direito Inferior (Terreno Após a Colheita da Cana).....	13
Figura 2.1.7 - Pastagem na Região do Médio Paranapanema.....	14
Figura 2.1.8 - Bacias Hidrográficas e Usinas Hidrelétricas do Estado de São Paulo...	15
Figura 2.1.9 - Subestação da Cidade de Assis	16
Figura 2.1.10 - Subestação da Cidade de Assis e as Subestações de Beira de Estrada.....	17
Tabela 2.3.1 - Referências Básicas dos Principais Recursos do MPP para a Energia Elétrica.....	19
Tabela 2.3.2 - Consumo de Energia e Possíveis Projeções (GWh)	20
Tabela 2.3.3 - Dados Sobre Eletrificação Rural no MPP	21
Tabela 2.4.1 - Alguns Números Característicos do Vale do Médio Paranapanema	23
Figura 2.6.1 - Sede do CIERGA na Cidade de Assis	25
Figura 3.1.1 - Gráfico da densidade de potência recebida pela atmosfera terrestre em função do comprimento de onda da radiação incidente.....	29
Figura 3.2.1 - Junção PN	33
Figura 3.2.2 - Junção PN Iluminada.....	34
Figura 3.2.3 - Modelo de Célula Solar Fotovoltaica.....	34
Fórmula 3.2.1 - Equacionamento de Uma Célula Solar Fotovoltaica	34
Figura 3.2.4 - Curvas Características $I \times V$	35
Figura 3.3.1 - Ângulos α , β e γ	37
Figura 4.1.1 - Curva PWM	40
Figura 4.1.2 - Possibilidade de ciclos em função da profundidade de descarga	41

Sumário

Figura 4.1.3 - Sistema Isolado	41
Tabela 4.1.1 - Vantagens e Desvantagens do Sistema Isolado	42
Tabela 4.2.1 - Vantagens e Desvantagens do Sistema de Bombeamento.....	45
Figura 4.2.1 - Sistema de Bombeamento.....	45
Figura 4.3.1 - Sistema Conectado à Rede Elétrica	47
Figura 4.4.1 - Sistema Isolado	49
Figura 4.4.2 - Sistema Conectado à Rede	50
Fórmula 5.1 - Fórmula do Custo do Ciclo de Vida.....	53
Fórmula 5.2 - Taxa de Desconto.....	53
Fórmula 5.3 - Custo do Ciclo de Vida Anualizado	54
Fórmula 5.4 - Fator de Recuperação do Capital	54
Tabela 5.1 - Custo do Sistema Isolado	54
Figura 5.1 - Comparação de Custos do Sistema Isolado	55
Tabela 5.2 - Vida Útil dos Equipamentos	55
Tabela 5.3 - Custos para o Sistema de 150 Wh.....	56
Tabela 5.4 - Custos para o Sistema de 300 Wh.....	56
Tabela 5.5 - Comparação entre o MRT e o Sistema Solar Fotovoltaico Isolado	58
Figura 5.2 - Comparação Entre o MRT e o Sistema Solar Isolado	58
Tabela 5.6 - Planejamento para a Região do MPP	59
Tabela I.1 - Planilha de Estimativa de Consumo : Exemplo Calculado	65
Tabela I.2 - Planilha de Dimensionamento I : Exemplo Calculado	66
Tabela I.3 - Planilha de Dimensionamento II : Exemplo Calculado	67

Resumo

Este trabalho apresenta a Região do Médio Paranapanema, suas características econômicas e sociais, seus problemas e anseios para o futuro. Mostra ainda, uma caracterização profunda dos sistemas solares fotovoltaicos, enfatizando desde aspectos técnicos da geração até aspectos ambientais na utilização.

É apresentada uma análise econômico-financeira assim como uma comparação entre diversos recursos cabíveis à Região. Conclui-se enfim o trabalho com um planejamento para se suprir toda a demanda reprimida do Médio Paranapanema.

Abstract

This work presents the Médio Paranapanema region, its social and economic characteristics, and its problems and desires for the future. It shows, in addition, a complete characterization of the photovoltaic solar systems, emphasizing since technical issues of generation from environmental issues in its utilization.

A financial and economics analysis is presented as well as a comparison among many resources for the region. The work presented is settled with a planning to supply the whole repressed demand of the Médio Paranapanema.

Capítulo 1 - Introdução

1.1 Considerações Iniciais

Os estudos referentes à Região do Médio Paranapanema (MPP) representam, no contexto da linha de pesquisa do PIR (planejamento Integrado de Recursos), uma situação previamente consolidada, já que diversos estudos foram realizados com o objetivo do Planejamento para o Desenvolvimento Sustentável, em particular em torno da Energia Elétrica e suas principais aplicações sociais para esta região.

A Eletricidade é uma das formas de energia que mais se adapta às necessidades da civilização no mundo contemporâneo. Sua utilização é tão abrangente que é quase impossível se conceber uma sociedade tecnologicamente avançada que não lance mão do uso, em larga escala, da energia elétrica. Pode-se dizer que todo o parque tecnológico, exceção feita ao transporte, está baseado em eletricidade.

Apesar da hidroeletricidade ter grande destaque na matriz energética brasileira, existem grandes quantidades de geradores à combustível fóssil (derivados do petróleo) localizados, principalmente em áreas remotas da região norte, nordeste e fronteiras agrícolas do país. A utilização de tais geradores provoca, além de dependência externa de combustível, sérios problemas ambientais, tanto na geração quanto no refino, transporte e consumo do mesmo.

No contexto mundial, a geração de eletricidade está intimamente ligada ao uso de combustíveis não renováveis, o que conduz, inevitavelmente a um esgotamento das reservas energéticas e conseqüente ameaça ao meio ambiente. No caso do Brasil, a situação é menos preocupante. Como já mencionado, a geração elétrica brasileira está baseada na hidroeletricidade (90%), que apesar de ser um recurso renovável, apresenta dois problemas principais. O primeiro referente aos impactos ambientais causados por alagamento de extensas áreas, e o segundo referente aos altos custos de construção de usinas hidrelétricas de grande porte, faz-se exceção neste caso, às PCHs (Pequenas Centrais Hidroelétricas) nas quais estes problemas são minimizados.

Tendo em vista ainda os fins para os quais muitos dos grandes investimentos hidroelétricos foram construídos, chega-se ao paradoxo no Brasil, da existência de extensas linhas de transmissão que passam por milhares de quilômetros de terras habitadas, nas quais os proprietários não tem eletricidade em suas residências devido à inexistência de subestações para abaixamento da tensão elétrica.

Por questões ambientais principalmente, desde a década de 80, novas formas de energia estão sendo analisadas e debatidas no contexto da problemática energética e ambiental. Biomassa, eólica e solar são exemplos concretos de tentativas renováveis como solução destas questões. No Brasil, por exemplo, há uma marcada necessidade de “saldar o débito social” e solucionar os problemas energéticos de um grande contingente de desfavorecidos e, se possível, de forma ambientalmente sustentável.

Atualmente a tecnologia solar fotovoltaica (transformação direta da radiação solar em elétrica através de propriedades particulares de semicondutores como o silício) alvo deste trabalho, conta com um alto grau de maturidade e desenvolvimento, o que se reflete em uma elevada confiabilidade. Concretamente, a geração fotovoltaica tem um excepcional êxito em aplicações onde as exigências em termos de confiabilidade são rigorosas. Exemplos desta aplicação são estações retransmissoras de telecomunicações em ambientes como a Sibéria (Rússia) e Países Nórdicos onde a temperatura chega a -70°C .

Quanto à durabilidade, já foi demonstrado que a vida útil do gerador fotovoltaico e da maioria dos componentes é superior a 20 anos. Mesmo que a tecnologia fotovoltaica já tenha sido aprovada tecnicamente, para que ocorra uma maior disseminação de sua utilização, é necessário que ela seja economicamente competitiva com as demais formas de geração de energia. Entretanto, para que os custos de produção de módulos solares sejam reduzidos, já que os custos de instalação são a principal desvantagem deste sistema, é necessário a eliminação do atual ciclo vicioso: os custos elevados mantêm a demanda baixa e a baixa demanda mantêm os custos elevados.

Atualmente, e ainda que não tenham sido alcançados os custos que alguns prediziam no otimismo dos anos 70, o número de aplicações fotovoltaicas capazes de romper esse círculo vicioso cresce dia a dia. Com base na combinação da melhoria da tecnologia e da otimização da economia de escala, houve uma redução de custo de 50 US\$/Wp (Wp – Watt pico – 1 Wp é a potência obtida de um painel solar fotovoltaico sob incidência de radiação solar de 1000 W/m²) para 4,5 US\$/Wp entre 1975 e 1997. Novas diretrizes apoiadas por várias instituições internacionais apontam para o preço do watt pico entre 1,5 e 2,0 US\$ por volta de 2005.

Tal panorama, aliado às necessidades de uma determinada região, como é o caso da Região do Médio Paranapanema, pode indicar diversas possibilidades quanto ao uso de geradores fotovoltaicos de diversas formas e com inúmeras aplicações.

Em capítulo posterior será discutida a questão do bombeamento fotovoltaico pois sabemos que a água é vital para a sobrevivência dos seres vivos, assim como o é, por exemplo, o oxigênio. Para os seres humanos, a água tem um conceito um pouco mais complexo que o da mera sobrevivência. Podemos considerar a água como um bem de consumo necessário ao bem estar social de comunidades e famílias. Assim sendo, o fácil acesso à mesma é requisito básico para assentamentos humanos em qualquer região do planeta.

Uma parcela considerável da população mundial encontra-se no meio rural e convive com carências em termos de infra-estrutura básica, o que provoca, associado a alguns outros fatores, o êxodo rural e o conseqüente inchamento dos grandes centros urbanos. A manutenção da população rural em seu meio de origem requer condições dignas de existência, estando a água e a eletricidade entre tais condições.

Entre as inúmeras utilidades da água aos seres humanos, estão prioritariamente, o fornecimento de água potável para o consumo da própria população, para a criação de animais domésticos, e também quando necessário, para a irrigação de áreas de plantio. Infelizmente, no Brasil e no Mundo, pessoas são obrigadas a transportar água de maneira primitiva para seu consumo, sendo esta, muitas vezes, de péssima qualidade.

O bombeamento de água é uma das atividades mais antigas da história desenvolvidas pelo homem. A tração animal, aliada a métodos manuais, conseguiu suprir pequenas quantidades a pequenas alturas de bombeamento, constituindo-se assim, sistemas de baixíssima capacidade.

Atualmente, o bombeamento de água é realizado de forma a utilizar, na sua maioria, motores a combustão interna, como os motores diesel por exemplo. São motores relativamente baratos e de fácil instalação, porém apresentam dependência de combustíveis caros e extremamente poluentes, além disso, são motores que necessitam de freqüente manutenção, o que pode encarecer mais ainda os custos de operação.

1.2 Objetivos

O Projeto de Formatura tem como tema, proposto pelo professor Miguel Edgar Morales Udaeta, o estudo das possibilidades da Energia Solar Fotovoltaica no contexto da Região do Médio Paranapanema.

Dentro do tema proposto, os principais objetivos são:

- Conhecimento da Tecnologia Solar Fotovoltaica estabelecendo seu potencial quantitativo e qualitativo.
- Estudo da arquitetura dos principais Sistemas Geradores Fotovoltaicos.
- Conhecimento da Região do Médio Paranapanema, suas características, necessidades e anseios.
- Análise técnico-econômica de possíveis Sistemas Geradores Fotovoltaicos aplicados à Região do Médio Paranapanema.

1.3 Metodologia

O projeto foi dividido em etapas logicamente seqüenciadas para o pleno entendimento dos tópicos e dados a serem utilizados na Análise e Possibilidades dos Sistemas Fotovoltaicos aplicados à região em questão.

Etapa 1 – Pesquisa Bibliográfica

A Pesquisa bibliográfica, contendo estudo da tecnologia fotovoltaica, estudo das arquiteturas de sistemas geradores fotovoltaicos e contexto da região, foi realizada através de:

- Consulta a trabalhos e publicações universitárias
- Consulta a bibliotecas
- Pesquisa via Internet
- Consulta a especialistas

Etapa 2 – Apuração da Base de Dados

Nesta etapa, buscou-se averiguar a consistência dos dados obtidos confrontando-se dados de diferentes fontes no intuito de se chegar a dados confiáveis.

Etapa 3 – Definição dos Recursos a considerar

Nesta etapa, foram consideradas as possibilidades do uso de diversos sistemas factíveis para a Região do Médio Paranapanema, estudando aspectos tecnológicos, ambientais e sócio-econômicos.

Etapa 4 – Avaliação Técnico-Econômica dos Recursos Preferenciais

Nesta etapa, foi feito um levantamento de custos e vantagens técnicas dos recursos preferenciais, ou seja, recursos que apresentam maior viabilidade no contexto da região considerada.

Etapa 5 – Elaboração do Planejamento e Relatório Final

Foi elaborado um estudo das possibilidades do aproveitamento do sistemas fotovoltaicos, assim como o Relatório Final do Projeto de Formatura contendo todos os tópicos relevantes ao bom entendimento dos propósitos apresentados.

Capítulo 2 - A Região do Médio Paranapanema

2.1 Posição Geográfica e Informações Iniciais

Neste capítulo será apresentada a região do Médio Paranapanema (MPP), região para a qual o trabalho está dirigido. Aqui serão mostradas as características sócio-econômicas, ambientais, culturais e energéticas da região. Também serão relatados neste capítulo, todas as informações obtidas na viagem à cidade de Assis, onde foi realizada uma reunião no CIERGA (Consórcio Intermunicipal do Escritório da Região de Governo de Assis) na qual puderam ser observados uma série de detalhes relativos à região.

A região do MPP está localizada no Estado de São Paulo e tem uma área de 7.013 km², os seus municípios estão localizados dentro das bacias dos rios Paranapanema e do Peixe. O MPP é formado pela região de Governo de Assis mais dois municípios associados ao CIERGA formando um total de 17 municípios que são : Assis, Borá, Campos Novos Paulista, Cândido Mota, Cruzália, Echaporã, Florínea, Ibirarema, Lutécia, Maracaí, Palmital, Paraguaçu Paulista, Pedrinhas Paulista, Platina, Quatá, Tarumã e Oscar Bressane. Na figura 2.1.1 é apresentado o MPP, o Estado de São Paulo e o mapa do Brasil com as suas divisões políticas.

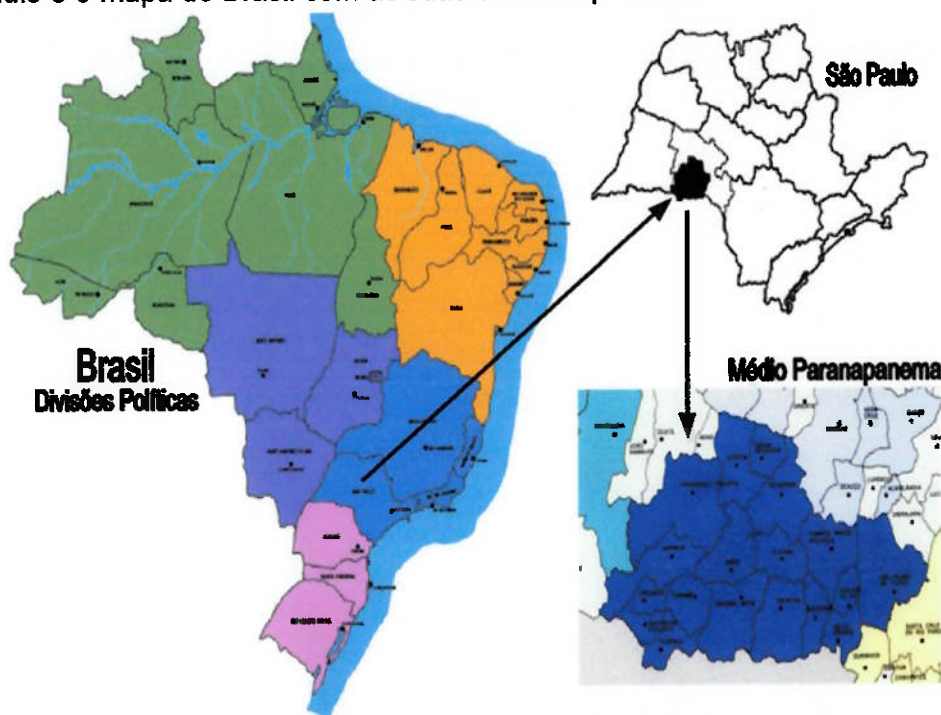


Figura 2.1.1 – Posição Geográfica do Médio Paranapanema

Embora o Estado de São Paulo seja o mais desenvolvido da União, apresenta o mesmo problema de má distribuição de renda e de desenvolvimento que o Brasil. O MPP é a terceira região menos desenvolvida do Estado (depois do Vale do Ribeira e Pontal do Paranapanema), pois a sua infra estrutura e base econômica estão totalmente voltadas para a agricultura e seus produtos. O fato de não se ter um grande desenvolvimento econômico está caracterizado nas culturas cultivadas que possuem um baixo valor comercial por hectare plantado e por isto não valorizam a região.

Grandes usinas hidrelétricas estão localizadas na região do Paranapanema, mas suas produções são em grande parte enviadas aos grandes centros consumidores. Atualmente, a população da região destaca que alguns de seus problemas mais sérios estão relacionados à energia elétrica, como exemplo:

- Os impactos ambientais causados pelas usinas e barragens;
- As tarifas energéticas controladas, não refletindo os custos locais;
- As áreas rurais não atendidas por falta de energia.

Assim, investimentos alternativos nos setores de demanda são considerados muito importantes para o futuro da região, isto porque a curto prazo seriam evitadas novas barragens, poder-se-ia reavaliar as tarifas energéticas e o excedente de energia poderia atrair novos investidores, possibilitando a melhoria das condições de vida da população. É simples demonstrar como a energia elétrica pode ser considerada como fator de desenvolvimento, mas deve-se notar, a todo momento, que ela não chega como um fim, mas sim como um meio.

Na tabela 2.1.1 vê-se o consumo de energia elétrica da região. É importante observar que o número de consumidores apresentado não reflete o número de pessoas atendidas pois para cada ponto de energia instalado pode-se ter a utilização de uma família, ou seja, um número grande de pessoas.

Tabela 2.1.1 - Comparação do consumo de energia elétrica no MPP e a cidade de São Paulo

DESCRIÇÃO	Médio Paranapanema (MPP)	São Paulo	MPP / SP [%]
Número de Consumidores	61.346	9.697.397	0,63
Consumo [GWh]	279	79.220	0,35
kWh por habitante	1.286	2.390	53,80
Área [Km ²]	7.013	248.000	2,51

Tabela 2.1.2 – Informações populacionais sobre as cidades do Médio Paranapanema

Cidade	Área [Km ²]	População 1995	População 1996
Assis	462,8	78.159	83.133
Borá	119,0	750	768
Campos Novos Paulista	485,8	4.045	4.176
Cândido Mota	597,5	26.384	28.222
Cruzália	149,5	2.699	2.687
Florínea	227,9	3.022	3.209
Ibirarema	229,0	5.585	5.709
Lutécia	475,8	2.569	2.683
Maracá	534,3	12.750	12.557
Palmital	550,3	18.835	19.737
Paraguaçu Paulista	1.003,6	35.699	37.561
Pedrinhas Paulista	152,6	2.610	2.592
Platina	328,6	2.902	2.970
Tarumã	304,2	9.868	10.325
Echaporã	515,9	6.388	6.410
Quatã	654,4	11.751	12.212
Oscar Bressane	222,0	2.434	2.501
TOTAL	7.013,2	226.450	237.452

Como pode ser observado na tabela 2.1.2, o MPP apresenta uma evolução lenta em seu quadro populacional e isto é devido ao fato de que houve um grande êxodo para as grandes metrópoles no passado. Atualmente algumas indústrias tem demonstrado interesse em instalar ou ampliar os seus negócios na região e com isto o êxodo sofreu uma desaceleração.

O MPP apresenta cidades como Paraguaçu Paulista que possui uma grande área e a segunda maior população da região mas também apresenta municípios como Borá que foi incorporado recentemente e possui menos de 1000 habitantes. (O município de Borá é o que apresenta o menor número de habitantes de todo o Estado de São Paulo). A principal cidade do MPP é Assis, que possui a maior população e a maior quantidade de recursos urbanos (ruas, água, esgoto, eletricidade, cinemas, teatros, hotéis, etc.), sendo que foi esta a cidade visitada durante o período de levantamento de dados e onde puderam ser observados e discutidos vários aspectos da região e suas necessidades. Assis é o centro financeiro da região, contendo uma grande cervejaria (Malta) e também uma base agrícola considerável.

A seguir são apresentadas duas figuras referentes a cidade de Assis. A primeira (figura 2.1.2) mostra a igreja e a rua Rui Barbosa, a segunda (figura 2.1.3) mostra o estilo das casas e a extensão da cidade.



Figura 2.1.2 – Igreja e Rua Rui Barbosa no Centro da Cidade de Assis



Figura 2.1.3 – Casas do Centro da Cidade de Assis

Na região sul do Médio Paranapanema, que faz divisa com o Rio Paranapanema, são plantadas culturas anuais: soja, milho, trigo, mandioca e cana-de-açúcar e somente 3% da vegetação nativa (floresta tropical) está preservada. Na figura 2.1.4 é apresentada a cultura de trigo e na figura 2.1.5 a cultura de milho do MPP.



Figura 2.1.4 – Plantação de Trigo na Região do Médio Paranapanema



Figura 2.1.5 – Plantação de Milho na Região do Médio Paranapanema

No Centro predominam a plantação de cana-de-açúcar (figura 2.1.6) e pastagens (figura 2.1.7) restando 6% de vegetação nativa (cerrado).



**Figura 2.1.6 – Lado Esquerdo (Plantação de Cana de Açúcar na Região do Médio Paranapanema)
Lado Direito Superior (Caminhão Recolhendo Cana)
Lado Direito Inferior (Terreno Após a Colheita da Cana)**

Na região Norte, localizada na bacia do Rio do Peixe, predominam as pastagens e ainda há 8% da vegetação nativa (floresta tropical).



Figura 2.1.7 – Pastagem na Região do Médio Paranapanema

Sua economia é basicamente agrícola e tem significativa importância para o Estado de São Paulo. Entretanto, o uso intensivo do solo trouxe grandes problemas, tais como :

- Diminuição da área de floresta;
- Erosão;
- Perda de fertilidade do solo;
- Contaminação do solo causados pelos agrotóxicos e suas embalagens.

Os rios Paranapanema, do Peixe e outros menores são as fontes de energia elétrica mais importantes da região através de suas hidrelétricas. Elas geram energia suficiente para suprir as necessidades locais, mas a sua principal função é a de levar energia para os grandes centros consumidores. Como pode ser observado na figura 2.1.8, as usinas hidrelétricas estão instaladas na bacia hidrográfica do Paranapanema.

As principais usinas da região são Canoas I e II.

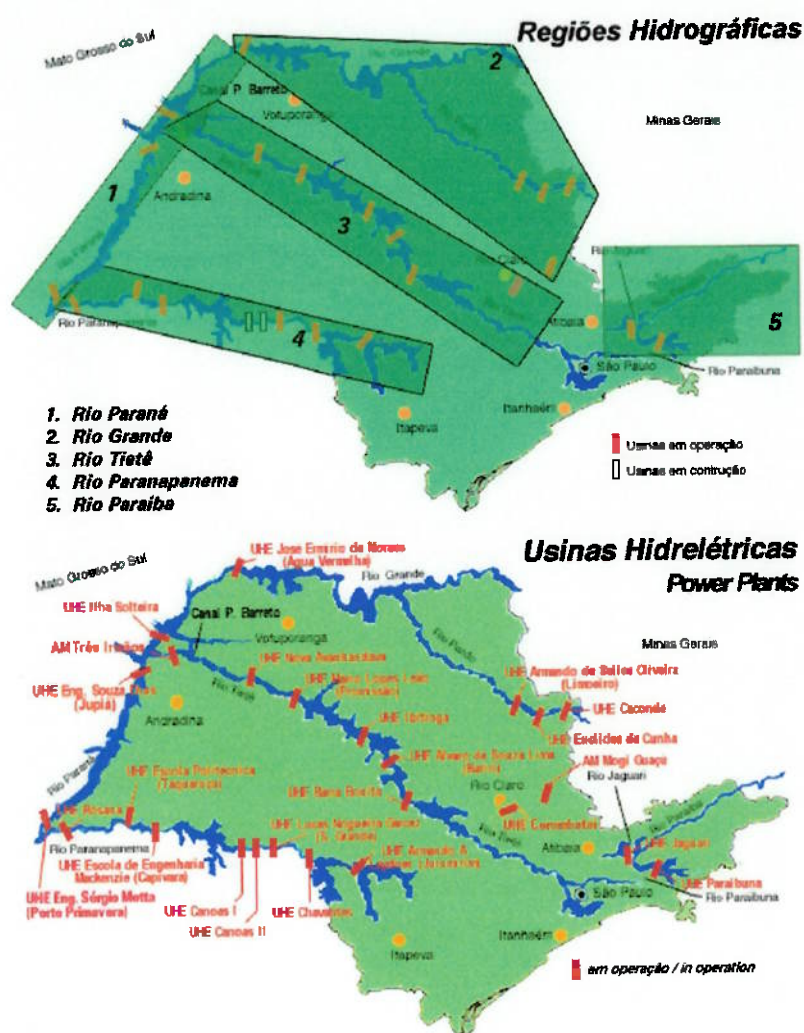


Figura 2.1.8 – Bacias Hidrográficas e Usinas Hidrelétricas do Estado de São Paulo

2.2 Considerações dos potenciais energéticos

A rede elétrica se estende no MPP cobrindo a superfície basicamente em 88 KV, sendo que a possibilidade de conexão à rede sempre é considerada como a opção natural, inclusive porque é tecnicamente factível, embora os custos de ampliação para determinados locais onde o nível de ingresso está abaixo do mínimo necessário seja considerado alto. Aqui deve-se notar a possibilidade do uso do MRT (Monofilar com Retorno pela Terra), cuja aplicação possibilita o uso da EE que vem da rede com baixo custo (para cargas baixas), especialmente para atendimento das necessidades rurais.

A cidade de Assis possui uma grande subestação (figuras 2.1.9 e 2.1.10) de energia que é responsável pela distribuição para toda a região através de subestações menores. Estas subestações menores foram encontradas durante todo o percurso da rodovia Raposo Tavares e alimentavam pequenos centros consumidores.

Abaixo são apresentadas uma série de imagens da subestação de Assis.



Figura 2.1.9 – Subestação da Cidade de Assis



Figura 2.1.10 – Subestação da Cidade de Assis e as Subestações de Beira de Estrada
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas

Tanto o Sol como o vento são partes da paisagem, o que nos leva a acreditar que o uso destes elementos podem ser de fundamental importância na busca de soluções futuras para o aumento dos níveis de energia elétrica. Atualmente o uso de aerogeradores ou de painéis fotovoltaicos são pouco ou nada utilizados para a geração de energia elétrica, isto devido aos hábitos ou desconhecimentos da população e mesmo porque não se apresenta a real necessidade (nos dias atuais) de se ter mais energia.

Uma das principais utilizações da energia solar fotovoltaica que é a de sistemas isolados se mostra viável na região uma vez que nem todas as localidades, sejam elas grandes propriedades rurais com apenas uma casa ou então as diversas casas das principais cidades não estão totalmente energizadas.

Os usos finais (iluminação, aquecimento, força motriz) e os equipamentos que permitem o serviço energético (lâmpadas, motores, etc.) apresentam eficiência baixa, o que demonstra uma banda aproximadamente entre 15 e 25% de ganho de eficiência quando estes forem substituídos por melhores equipamentos e lâmpadas que estejam dentro dos processos de conservação de energia (Como as fluorescentes do tipo PL que produzem a mesma iluminação com um consumo bem menor de energia elétrica).

Uma parte do projeto criado para estabelecer uma infra-estrutura energética e valorizar a EE é o PIR (Planejamento Integrado de Recursos). Para o MPP implementar-se-á e financiar-se-á por decisão e participação dos interessados (pessoas, instituições, empresas e órgãos de governo), e terá um alcance além do contexto da EE. Assim, o planejamento energético estaria inserido no contexto do desenvolvimento sustentável do MPP, com o intuito de utilizar a energia e o seu aproveitamento em grande, pequena e micro escala, e levando em conta suas características heterogêneas (energéticas, econômicas, ambientais e sócio-políticas, inclusive culturais) como instrumento para a sustentabilidade.

Por outro lado, também é importante o impacto que o processo do PIR do MPP pode causar nas outras regiões de governo, nas regiões administrativas, nos estados e no Brasil como um todo, devido principalmente a seu enfoque no recurso mais importante - o humano.

2.3 Avaliação dos recursos disponíveis e classificação

O consumo de energia elétrica é a base para as reflexões sobre as conclusões a serem tomadas. Os programas de conservação nas áreas mais populosas (como a iluminação eficiente, já citada anteriormente) devem ser estudados para que a realocação da energia se faça para um uso final produtivo e eficiente. Como se vê, a preocupação presente é, em última instância, com o cidadão, que deve ter o direito ao conforto e ao bem-estar social. Os elementos ambientais e ecológicos devem contribuir para que haja harmonia entre o homem e o meio ambiente e o uso e exploração desses elementos devem ser conduzidos de modo racional e ecologicamente correto. E importante ressaltar que a integração de recursos se dará a partir de análises e determinação de prioridades para formar as carteiras de cenários de recursos. Alguns recursos são observados na tabela 2.3.1.

Tabela 2.3.1 - Referências Básicas dos Principais Recursos do MPP para a Energia Elétrica

RECURSO	Potencial [GWh / Ano]		Custo Médio [US\$ / MWh]	Condição Ambiental (Qualitativo)
	Total	Aproveitável		
Hídrico – PCH	37,60	30,00	15	BOM
Cogeração – Bagaço de Cana	836,00	450,00	40	ÓTIMO
Florestal	70,00	48,00	50	BOM
Lixo Urbano – Orgânico	20,00	17,00	40	ÓTIMO
Solar – Fotovoltaico	100,54	51,20	250	ÓTIMO
Eólico	144,00	15,00	62	ÓTIMO
Troca – Pré Aquecedor	---	6,80 (*)	41	BOM
Conservação	---	9,50 (*)	26	ÓTIMO
(*) Valores Totais (num horizonte de 10 anos) em GWh				

Para classificação dos recursos, alguns indicadores regionais serão considerados, como:

- graus de contaminação e poluição dos recursos hídricos e também do solo;
- nível de renda da população;
- situação da posse da terra;
- interesses privados (investimento),
- públicos (migração) e culturais (hábitos e necessidades);

- níveis de ganho dos interessados na produção e no consumo (autoprodutores, distribuidores, e consumidores e não consumidores);
- os grandes volumes de energia exportada da região;
- perspectivas e necessidade de ensino (técnico, humano, e ambiental);
- nível de atividade cultural;
- nível mínimo necessário de atividade econômica (agrícola, industrial e de serviço);
- grau de acesso através do transporte (hidrovia, rodovia, ferrovia);
- utilização de técnicas e tecnologias não convencionais;
- níveis de incentivo necessário local e estadual;
- racionalidade no uso da energia;
- grau de inter-relação intra e extra-regional.

Outro fator de classificação a ser considerado é a perspectiva do consumo de energia elétrica para o futuro, assim a tabela 2.3.2 traz as projeções para o MPP.

Tabela 2.3.2 – Consumo de Energia e Possíveis Projeções (GWh)

	1995	2000	2005
Consumo Convencional Real [GWh]	280,57	309,98	369,36
Consumo [MWh / Consumidor]	4,589	4,294	4,466
Consumo Reprimido [GWh]	247,63	152,19	158,83
Consumo Ideal (Acesso Total a EE) [GWh] (*)	528,19	462,21	427,63
Valor determinado através de valor médio per capita de São Paulo, sendo que no horizonte de 10 anos os valores seriam um pouco menores pelo uso racional da energia elétrica.			

Com relação às UPA's (Unidades de Produção Agropecuárias) pode-se observar através da tabela 2.3.3 que 42,37% das mesmas não são eletrificadas pela rede elétrica convencional, sendo este o fator decisivo para a análise de custos de sistemas solares fotovoltaicos isolados para residências rurais.

Defini-se UPA como unidades maiores que 0,1 ha e que têm fim comercial. Exclui chácaras de lazer e somente residentes na área rural. Por outro lado, 1 UPA pode não ter nenhum residente e não necessitar de energia elétrica. No caso da região, muitas propriedades podem estar arrendadas para cultura de cana, bovinocultura ou café. O número exato só pode ser obtido com um trabalho de levantamento em campo ou, talvez, através de estimativas das Casas da Agricultura.

Tabela 2.3.3 – Dados Sobre Eletrificação Rural no MPP

Cidade	Número de UPA's	UPA's Sem EE
Assis	674	165
Borá	68	27
Campos Novos Paulista	437	184
Cândido Mota	1052	415
Cruzália	230	123
Florínea	202	98
Ibirarema	464	255
Lutécia	297	117
Maracaí	640	349
Palmital	1145	489
Paraguaçu Paulista	1094	403
Pedrinhas Paulista	325	172
Platina	333	166
Tarumã	370	219
Echaporã	348	113
Quatá	417	147
Oscar Bressane	235	88
TOTAL	8331	3530

2.4 Características sócio-econômicas e culturais

As necessidades básicas da região podem ser bem caracterizadas através de uma visão global da situação atual do MPP como a seguir:

- Nenhum município oferece ensino de 1º grau, este é de responsabilidade do estado;
- Todos os municípios oferecem programa de educação infantil de 0 a 6 anos;
- Todos investem em programação de ensino supletivo oferecendo classes de 1ª à 4ª séries em período noturno;
- O ensino técnico é oferecido em Assis;
- Algumas escolas agrícolas regionais tem dificuldades;
- No ensino superior o MPP conta com : Campus UNESP (formação para atuar em 1º, 2º e 3º graus), FEMA (IMESA - matemática e computação), IEDA (educação física, pedagogia e administração), todos em Assis; e a Faculdade de Agronomia de Paraguaçu Paulista;

- Apenas três municípios tem políticas de atividade cultural;
- Nenhum tem apoio da iniciativa privada na cultura;
- Não há políticas econômicas para redução do processo migratório em direção aos centros urbanos maiores;
- Mínimo desenvolvimento tecnológico da agropecuária;
- Há reflorestamento em 20% das propriedades;
- Verifica-se a existência do Projeto Agricultura Limpa (porém depende de continuidade de Canoas I e II);
- Falta direcionamento pensado estrategicamente para o MPP, em função de seus potenciais;
- O MPP é aculturado no setor agrícola e a cultura industrial é ineficiente;
- A região fornece matérias primas e alimentos básicos;
- Há prédios abandonados;
- Desconhecimento do espanhol (Mercosul);
- Há pouquíssima informação sobre os mecanismos e práticas financeiras (exportação, importações);
- Há poucas e dispersas informações sobre o Mercosul;
- O comércio local e regional perde credibilidade, e os consumidores se deslocam a centros maiores;
- Falta complementação de estradas (SP-280 e 333);
- Má manutenção da FEPASA (corta o MPP ao meio);
- Não há navegabilidade no rio Paranapanema;
- Não há regionalização das tarifas (desagregação dos custos de geração e T&D de energia elétrica);
- O complexo Canoas não prioriza o consumo do MPP;
- Não há incentivo à Cogeração (bagaço de cana);
- Não se adotam alternativas mais econômicas na implantação de redes de energia elétrica;
- Não há incentivo à conservação e uso eficiente da EE;
- Não há política energética para as formas alternativas de obtenção de energia, por exemplo energia solar;
- Nenhuma cidade conta com ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) adequada, sendo os esgotos despejados in-natura nos cursos d'água;

- O monitoramento e o tratamento d'água atendem a padrões aceitáveis de qualidade (quando é relativo a SABESP);
- Não há obrigatoriedade nas Prefeituras Municipais na fiscalização do ICMS.

Em termos de valores regionais, pode-se observar através da tabela 2.4.1, certos indicadores que argumentam melhor as considerações acima.

Tabela 2.4.1 - Alguns Números Característicos do Vale do Médio Paranapanema

ITENS ↓ ANO →	1989	1990	1991	1992	1995
População	199.467	202.340	207.045	210.893	226.450
Água Encanada (Usuários)	25.245	33.777	35.365	46.393	49.402
Rede de Esgoto (Usuários)	18.152	25.732	29.059	35.438	44.984
Consumo de Energia Elétrica [MWh]	170.340	177.494	187.063	193.673	198.871
Consumidores de Energia Elétrica	48.270	49.814	53.043	55.694	58.342
Pessoal Ocupado (In. / Co. / Se)	23.551	23.267	22.444	25.250	27.350
Crédito Rural [US\$ (1994)]	126.279.446	95.029.222	81.498.842	82.694.542	87.375.090
Receita Municipal [US\$ (1994)]	48.381.457	53.131.097	48.122.149	44.113.339	49.235.782
Investimento per Capita [US\$ / Hab.]	40,64	56,27	53,6	37,4	29,57
PIB per Capita [US\$ / Hab.]	1.550	2.100	1.890	1.880	1.790
Valor determinado através do indicador de intensidade de energia elétrica (relativo a São Paulo) e relacionado ao investimento per Capita da região.					

Os consumidores são parte inerente ao processo de estudo e devem ser considerados em todas as etapas de determinação e planejamento.

2.5 Desejos iniciais da região com condições de mercado em geral

Uma listagem destas questões permitem uma compreensão clara dos caminhos que o MPP observa pela frente, sendo que várias delas referendam o que até aqui se colocou acerca do MPP, e estas são: exploração agropecuária ambiental e desenvolvimento sustentado da agropecuária; redução do fluxo migratório (menores problemas para as grandes metrópoles); fomento à alternativas agropecuárias para a região; reforço da defesa sanitária regional; recuperação ambiental para o MPP; criação de polo de exploração turística; minimização do isolamento da região; gerenciamento de recursos hídricos; elaboração e atualização de dados da região; surgimento de outras indústrias em torno da indústria canavieira (produtora de álcool e açúcar); indústria de reciclagem dentro do MPP; captação do valor agregado das fases de processamento (da indústria e da comercialização) de produtos.

Outras não menos interessantes são: diversificação de indústrias para produção real e potencial da região (derivados de hortifrutigrangeiros); participação no mercado do MERCOSUL; reativação do comércio (global) na região; implementação do Terminal Intermodal de Cargas de Assis; possibilitar a navegabilidade do rio Paranapanema; aplicação da Cogeração de EE aproveitando o bagaço de cana; implementar a forma de equivalência produto para cobrir os custos da eletrificação rural; conservação de energia ; uso das energias alternativas e implantação do imposto agregado.

2.6 A visita ao CIERGA na cidade de Assis

No dias 13 e 14 de Agosto foi realizada uma visita à Região do Médio Paranapanema para conhecimento do local no qual o trabalho está baseado, e também para verificação da validade de todos os dados obtidos anteriormente por outras fontes (como projetos de formaturas de anos anteriores e o estudo do PIR feito por Miguel Edgar Morales Udaeta). A visita foi realizada na cidade de Assis onde realizou-se uma reunião no CIERGA (figura 2.6.1), o órgão responsável pelo planejamento e desenvolvimento da Região do Médio Paranapanema.



Figura 2.6.1 – Sede do CIERGA na Cidade de Assis

A reunião foi realizada com a presença de seis pessoas : Miguel Edgar Morales Udaeta, Fábio Sismotto El Hage, Davi José Ferreira Squaiella, André Luiz Veiga Gimenez e os Srs. Horus Magalhães (Secretário Municipal de Planejamento e Desenvolvimento da Prefeitura Municipal de Assis – Gestão 93/96) e Antônio Carlos Rodrigues Martinho (Assistente Técnico I da Secretaria Municipal de Planejamento e Desenvolvimento da Prefeitura Municipal de Assis – Gestão 93/96). A Prefeita de Pedrinhas, convidada a participar da reunião não esteve presente.

No início, foi feita uma explanação pelo Sr Horus Magalhães relatando o que é o CIERGA e quais são seus objetivos. Basicamente o CIERGA é um conselho que busca solucionar os problemas do MPP (através da busca de novas tecnologias em convênios com Universidades) e também é responsável pelo desenvolvimento e crescimento sustentado da região. Os dados informados foram que o MPP possui cerca de 200 mil habitantes (ver maiores detalhes na tabela 2.1.2) e não tem perspectivas de crescimento demográfico. Foi relatado que houve um grande êxodo para as grandes cidades na década de 80 e só no início dos anos 90 a população voltou a se estabilizar em um patamar inferior em relação ao número de pessoas nos anos 70. Na região há o problema do desemprego e isto foi e ainda é um dos principais fatores para o êxodo para as grandes cidades. Em relação à renda per capita, esta é a menor do Estado de São Paulo, mas ainda é superior se comparado com a renda per capita do Brasil. Foi informado que o CIERGA havia incorporado mais dois municípios do Estado (Borá e Quatá) e agora conta com 17 municípios ao todo.

Foi explicado que a região pode ser dividida basicamente em duas partes :

- Uma ao sul, encostada no rio Paranapanema que corresponde a 40% da área total da região a qual é composta por terra vermelha (ou terra roxa). Nesta região é que são plantadas as monoculturas já citadas e ilustradas no capítulo 2.1 e é aí que está a maior concentração de renda local. A economia da região gira praticamente em torno destas cidades e de suas culturas.
- A outra ao Norte é a região da areia branca e ocupa cerca de 60% da área total. Neste local a terra não é tão boa para o cultivo de culturas e predominam as pastagens. Há um grande interesse em se realizar estudos para a melhoria da terra para o cultivo de culturas mais rentáveis como a menta, mas isto exigiria um grande investimento na irrigação e introdução de sais minerais e outros compostos que possibilitassem tal utilização.

Com relação à eletrificação rural, foi informado que 60% da região está totalmente eletrificada e isto corresponderia às cidades locais, os outros 40% da região são constituídos por latifúndios que apresentam uma casa eletrificada (sede da fazenda), deve-se notar que mesmo nos grandes latifúndios há o problema de falta de energia, ou seja, uma das principais aplicações da energia solar fotovoltaica, que seria em comunidades isoladas, é utilizável para o MPP uma vez que tais comunidades necessitam de energia.

Foram feitas algumas perguntas tais como :

- Quantas comunidades isoladas da rede elétrica existem na região?
- Não existem favelas com problemas de energia nas periferias das cidades?
- Nunca houve um grupo de moradores que tenha levantado o problema de falta de energia elétrica?

As respostas para estas perguntas foram inconclusivas já que os Srs. Horus Magalhães e Antônio Carlos Rodrigues Martinho desconheciam quaisquer propriedades da região do MPP sem energia elétrica.

Com relação a agricultura, fator que causa mais estudos e interesses que o da energia, foi informado que a região é pobre tendo como base as monoculturas de baixo rendimento. Vários estudos tem sido feitos para a troca das monoculturas como o milho, trigo, cana e soja por outras mais rentáveis mas até agora não foi colocado em prática nenhum projeto a este respeito. Ainda na agricultura, foi informado que faltam sistemas de irrigação (já citados acima) e que estes devem ser muito bem analisados, pois como existem terras produtivas próximas (terra vermelha) um custo muito alto tornaria inviável a produção para estas terras. A vegetação nativa sofreu grande desvatação por causa dos latifúndios e para o cultivo de monoculturas sendo atualmente inferior a 8% da vegetação natural local.

Também foi relatado a tentativa de aumentar a piscicultura através da introdução dos aeradores. Como a região possui grandes lagos por causa das hidrelétricas, seria interessante a introdução de um sistema de criação de peixes de alto rendimento com aeradores (paletas que ficam agitando a superfícies dos lagos fazendo com que a maior oxigenação aumentasse consideravelmente a produção de peixes neste local). O problema decorrente disto está relacionado com o fato de os aeradores precisarem de uma quantidade de energia não disponível atualmente.

Capítulo 3 - Energia Solar

3.1 Introdução

A energia gerada pelo Sol é, praticamente, a origem de todas as formas de energia conhecidas e aproveitadas pelo homem. É o Sol o responsável pelo aquecimento das águas e seu posterior ciclo de chuvas, o qual mantém os reservatórios hidrelétricos cheios e capazes de alimentar as turbinas geradoras. Os vegetais, através da fotossíntese, sintetizam moléculas energéticas como os carboidratos, que podem ser usados em processos de combustão para geração de energia; esse é o caso do petróleo, matéria orgânica fossilizada, e o caso do álcool, extraído de vegetais por destilação de seu extrato. Até mesmo a energia eólica possui origem solar, já que as correntes de ar são originadas por diferenças de temperatura ocasionadas pelo calor do Sol.

O Sol é uma estrela, ou seja, uma esfera de material gasoso extremamente aquecido com um diâmetro de aproximadamente 1.39×10^6 km a uma distância média da Terra de 1.5×10^8 km. Seu período de rotação é de aproximadamente 4 semanas, notando que seu equador gira ligeiramente mais rápido que seus pólos. A esfera solar é um gigantesco reator a fusão nuclear, no qual a reação mais relevante é a fusão de dois átomos de Hidrogênio em um átomo de Hélio com liberação de grandes quantidades de energia. A temperatura efetiva de sua superfície é de quase 5800 K com valores entre 8×10^6 K e 40×10^6 K nas regiões próximas ao centro. Pode-se tratar o Sol como um imenso corpo negro irradiando ondas eletromagnéticas a uma temperatura de aproximadamente 5762 K.

A radiação solar atinge a esfera terrestre iluminando e aquecendo-a com densidade superficial média de potência da ordem de 1353 W / m^2 em camadas externas da atmosfera. Isto é, a radiação direta recebida pela superfície da terra é ligeiramente menor, já que existe absorção da radiação por moléculas de gases presentes nas diversas camadas atmosféricas.

A radiação solar está concentrada no espectro de luz visível, e sua distribuição espectral de potência recebida está centrada aproximadamente no comprimento de onda da cor amarela, como mostra o gráfico da figura 3.1.1 (próxima página), levantado pela NASA na década de 70.

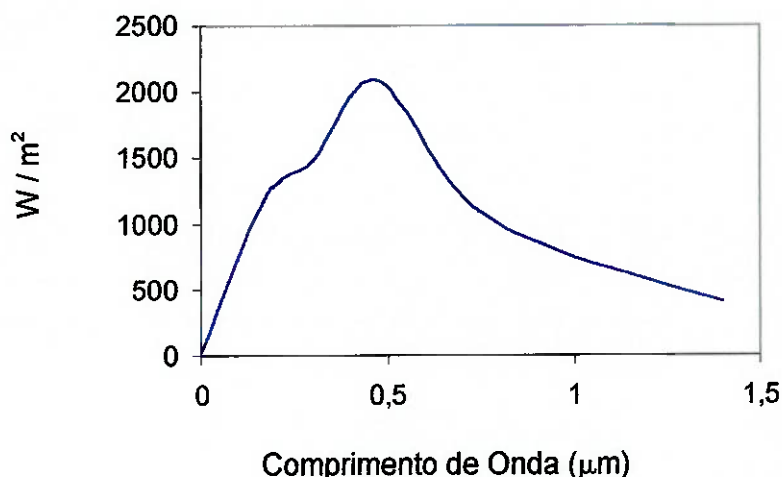


Figura 3.1.1 – Gráfico da densidade de potência recebida pela atmosfera terrestre em função do comprimento de onda da radiação incidente.

Existem diversas formas de utilização da radiação solar como fonte energética de forma direta, ou seja, sem o intermédio de organismos fotossintetizantes ou de correntes de ar. Podemos obter energia térmica através de processos fototérmicos utilizando coletores solares planos para aquecimento de água, os quais não passam de sistemas absorvedores de luz por superfícies enegrecidas, serpentinas para circulação do fluido e reservatórios térmicos para armazenamento e manutenção da temperatura da água. Também através da termoeletricidade, conhecida por “efeito Seebeck”, é possível se obter energia elétrica com um par de fios metálicos de substâncias diferentes ligados e submetidos a temperaturas diferentes através do aquecimento por concentradores solares. O conjunto bimetálico capaz de gerar eletricidade através do aquecimento de apenas um dos metais componentes da junção, é chamado de termopar.

Enfim, podemos transformar energia luminosa proveniente do Sol em eletricidade de forma direta através da conversão fotovoltaica de energia, a qual se utiliza das células fotovoltaicas, componentes básicos a essa forma de obtenção de eletricidade construídas à base de cristais de Silício.

O desenvolvimento da energia solar fotovoltaica tem aberto novas perspectivas para a solução do problema energético em larga escala. O principal obstáculo à implantação de sistemas de geração fotovoltaicos até o presente momento, tem sido o elevado custo de instalação dos equipamentos necessários a esta alternativa. No entanto, existe uma forte tendência para a diminuição de tais custos, principalmente das células fotovoltaicas, em função da crescente escala de produção de painéis solares nos países desenvolvidos e, recentemente, no Brasil. A questão do impacto ambiental, anteriormente ignorada por governos de todo o planeta, será discutida juntamente com a análise detalhada desta alternativa como fonte energética, em capítulos posteriores do presente trabalho.

3.2 Energia Solar Fotovoltaica

- Histórico

O efeito fotoelétrico, através do qual um elétron presente em uma rede cristalina é deslocado para um nível mais energético devido ao choque como um foton, partícula luminosa, foi observado já no final do século dezanove. Heinrich Hertz realizou em 1886 e 1887 experimentos que comprovavam que a incidência de luz ultravioleta sobre eletrodos submetidos a uma diferença de potencial elétrico, facilitavam a descarga elétrica. Albert Einstein, no início do século, equacionou e explicou o efeito fotoelétrico através da mecânica relativística aplicada a partículas e ganhou um Prêmio Nobel de Física por tal mérito.

A conversão fotovoltaica de energia, através de painéis solares, só foi possível após a década de 50, com o desenvolvimento da tecnologia dos semicondutores pela indústria americana de componentes eletrônicos. Por mais de vinte anos, a tecnologia fotovoltaica foi considerada inviável devido aos seus altos custos e baixos rendimentos (em torno de 5%). Devido à corrida espacial, após a década de 60, Estados Unidos e União Soviética buscavam uma forma de geração de energia que fosse vital para o desenvolvimento de projetos espaciais, principalmente, o projeto de satélites artificiais. Após 1970, a conversão fotovoltaica de energia foi definida como a principal fonte energética utilizada nos projetos espaciais devido aos valores de rendimento alcançados (10%), o que provocou um aumento da produção de painéis solares juntamente com um maior interesse científico pelo assunto.

O aumento considerável do rendimento das células solares comerciais (em torno de 15%) em adição a favorável diminuição dos custos, fez com que, no início da década de 90, países europeus, Japão e Estados Unidos adotassem sistemas geradores solares como solução para diversos problemas levando em consideração o fato de que se trata de um sistema que não emite resíduos tóxicos e não causa qualquer dano ao meio ambiente. Alemanha, Espanha e outros países desenvolvidos adotaram a tecnologia fotovoltaica de forma ousada, dentro do conceito de geração elétrica distribuída, ou seja, sistemas geradores solares conectados à redes de distribuição convencionais. Os resultados são favoráveis, apesar dos ainda altos custos de instalação, e promissores.

No caso do Brasil, a energia solar fotovoltaica é pouco desenvolvida. Apenas alguns institutos de pesquisas ligados a universidades e poucas empresas privadas trabalham com soluções ligadas à conversão fotovoltaica de energia. Alguns sistemas solares isolados, ou seja, não conectados à rede elétrica convencional, foram, com sucesso, implantados em regiões de reserva ambiental ou de difícil acesso, beneficiando comunidades camponesas que não tinham acesso à eletricidade para utilização básica, como iluminação, bombeamento de água e outros.

É evidente que, com a diminuição progressiva dos custos relacionados a sistemas geradores fotovoltaicos e com o crescente aumento do rendimento das células solares (atualmente, laboratórios conseguem um rendimento da ordem de 30%), esta tecnologia será acatada como uma possível solução para o problema energético mundial.

- Célula Fotovoltaica

Os condutores elétricos são materiais que apresentam elétrons livres, ou seja, elétrons na camada de condução de sua estrutura molecular. Já os materiais não condutores apresentam elétrons localizados quase que totalmente, à temperatura ambiente, na camada de valência da estrutura molecular, não apresentando, portanto, elétrons livres capazes de conduzir corrente elétrica.

Os semicondutores são elementos que quando em estrutura cristalina, possuem características de condução elétrica intermediárias entre os condutores (presença de elétrons livres na estrutura molecular) e os isolantes (ausência de elétrons livres na estrutura molecular). O elemento semiconductor mais utilizado atualmente, tanto na construção de componentes eletrônicos como os diodos e os transistores, como na construção de células fotovoltaicas, é o Silício.

Fazendo com que impurezas sejam introduzidas na estrutura cristalina de um semiconductor, podemos alterar suas características de condução elétrica. Introduzindo, por exemplo, um elemento pentavalente como o Fósforo na estrutura cristalina de um elemento tetravalente como o Silício, é notado que um elétron do Fósforo não se ligará ao Silício, e tornar-se-á um elétron livre na estrutura semicondutora impura, a qual é denominada tipo N. Da mesma forma, introduzindo um elemento trivalente como o Boro na estrutura intrínseca do silício, três elétrons se ligarão à estrutura semicondutora deixando uma lacuna, ou seja, haverá uma região não preenchida por elétrons na estrutura impura, a qual é denominada tipo P. O número de elétrons livres, ou elétrons na camada de condução do cristal, no material tipo N e o número de lacunas na camada de valência no material tipo P dependerá das quantidades de impurezas presentes em cada estrutura extrínseca, ou seja, impura.

Funcionamento Básico

As Células Fotovoltaicas ou Células Solares, como são normalmente denominadas, são dispositivos formados basicamente por uma junção P-N, assim como o é, por exemplo, um diodo comum. Fazendo com que um semiconductor do tipo P, no caso mais usual, Silício dopado com Boro, entre em contato com outro semiconductor do tipo N, usualmente, Silício dopado com Fósforo, obteremos uma junção P-N.

Devido à diferença de concentrações de elétrons livres nos materiais do tipo N e do tipo P, elétrons do material tipo N, os quais são, neste material, portadores majoritários, migrarão por difusão para o material do tipo P. Devido à presença de lacunas neste, as quais são portadores majoritários, ou seja, estão em maior número que os elétrons livres, haverá recombinação de elétrons e lacunas.

Como elétrons livres, por difusão, migram do material tipo N para o material tipo P, haverá uma diferença de potencial causada pelo excesso de cargas negativas no material P, e pela falta de elétrons no material N. Tal diferença de potencial elétrico causará um contra fluxo de elétrons do material tipo P para o material tipo N. Ocorrerá então, uma situação de equilíbrio na qual a corrente de difusão, ou seja, a corrente espontânea causada pela passagem de elétrons de N para P será de igual intensidade à corrente causada pelo campo elétrico, porém de sentidos opostos. À região de atuação do campo elétrico, causador da diferença de potencial, damos o nome de região de depleção, ou zona de depleção. A junção P-N está esquematizada na figura 3.2.1.

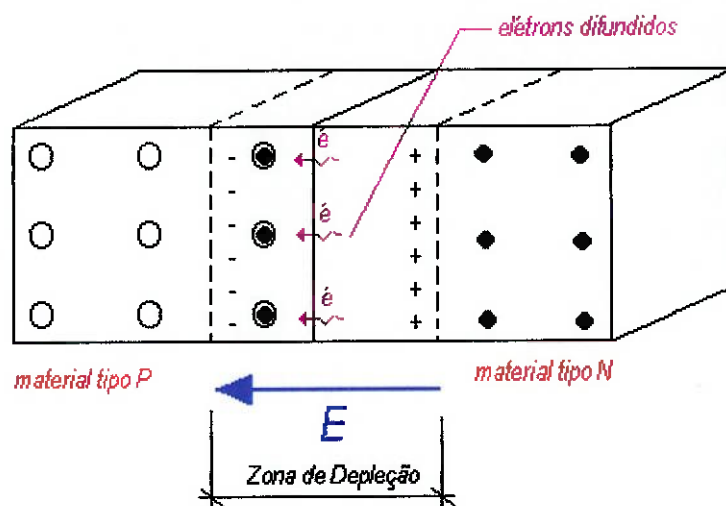


Figura 3.2.1 – Junção PN

Quando a junção P-N é exposta à luz, fótons atingem a estrutura chocando-se com alguns elétrons da camada de valência do cristal e, através do efeito fotoelétrico, deslocam os mesmos para a camada de condução, criando assim, novos pares elétron-lacuna. Alguns elétrons próximos a camada de depleção são arrastados para o lado N pelo campo elétrico previamente estabelecido pela junção. O excesso de elétrons no lado N causa uma diferença de potencial entre os extremos da junção, o qual era nulo antes da presença da luz.

Ao inserir um condutor elétrico entre os extremos da junção, chamados agora de terminais, notaremos a circulação de corrente elétrica, já que fótons continuam deslocando elétrons para a camada de condução, e o campo elétrico continua arrastando-os para o lado N. O material semiconductor do tipo P, será o terminal positivo da célula fotovoltaica, enquanto o material semiconductor do tipo N será o terminal negativo. Note na figura 3.2.2 que a corrente elétrica criada através do efeito fotoelétrico é contrária a corrente de polarização direta de um diodo comum.

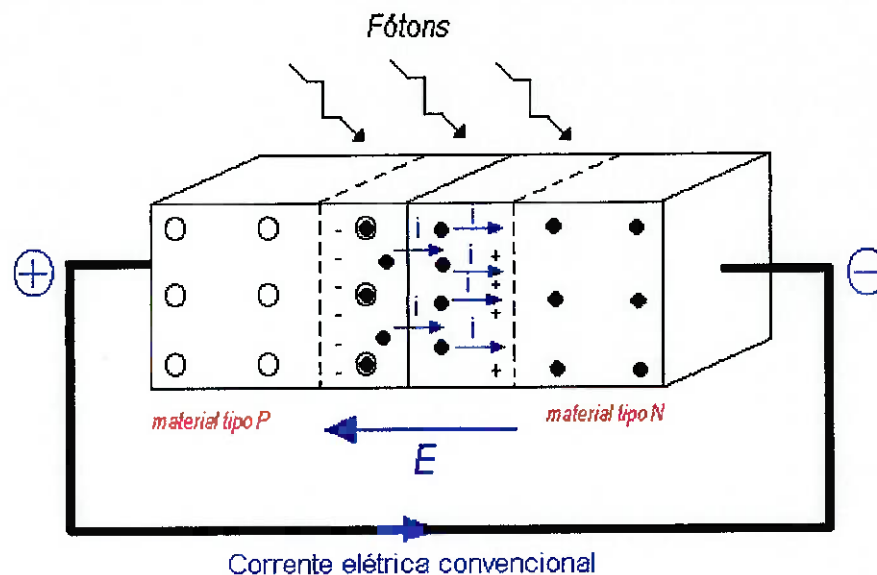


Figura 3.2.2 – Junção PN Iluminada

O modelamento de uma célula solar fotovoltaica é descrito pelo circuito da figura 3.2.3, bem como o seu equacionamento (fórmula 3.2.1) sendo que a sua característica – corrente de saída por tensão de saída – está representada na figura 3.2.4.

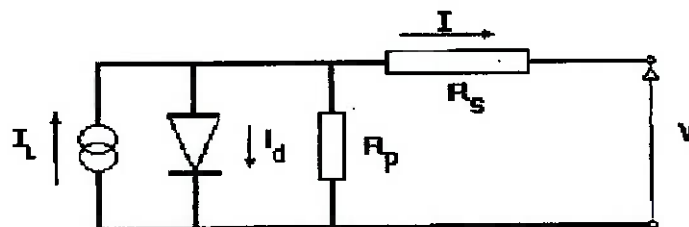


Figura 3.2.3 – Modelo de Célula Solar Fotovoltaica

$$I = I_L - I_0 \left(\exp \frac{V + IR_s}{V_t} - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_p}$$

Fórmula 3.2.1 – Equacionamento de Uma Célula Solar Fotovoltaica

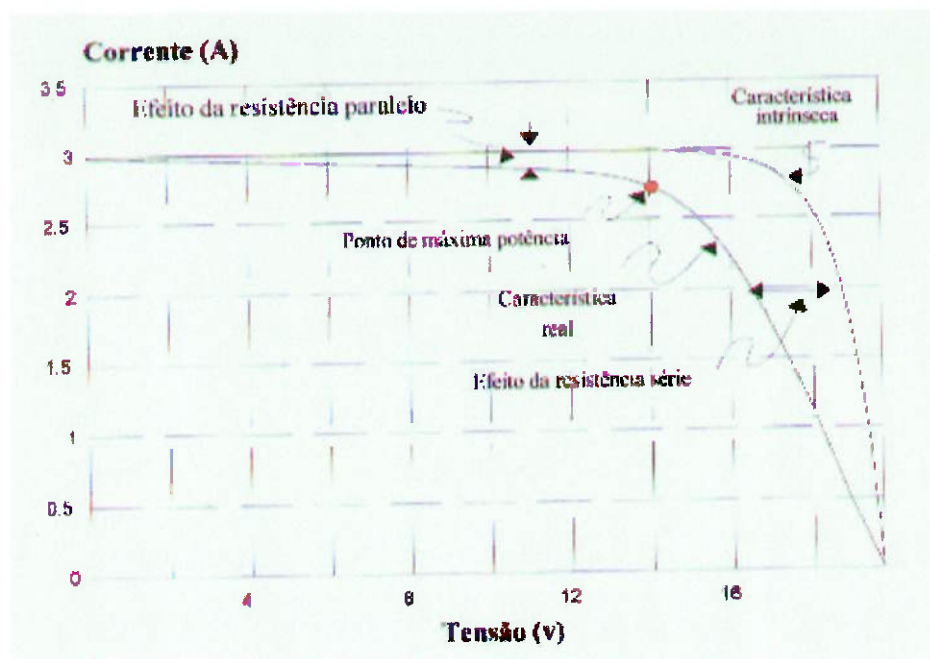
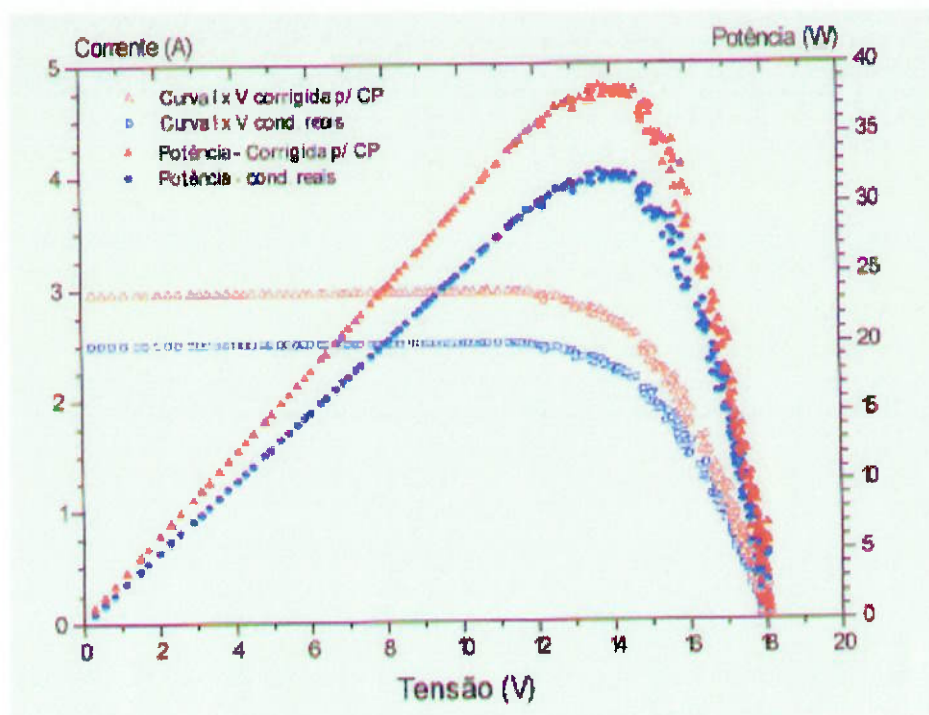


Figura 3.2.4 – Curvas Características $I \times V$

- Tipos de Células Fotovoltaicas
- Células Monocristalinas

Este tipo de célula é feita, assim como os são circuitos integrados, a partir de um único cristal de Silício, conforme será descrito mais adiante. É o processo mais antigo, e portanto bem desenvolvido e eficiente. As células solares monocristalinas são de aparência uniforme e de cor azul escura.

- Células Policristalinas

São células cortadas de uma peça policristalina de Silício (formada por um aglomerado de cristais menores). Os cristais, de aproximadamente 1cm de largura, formam um padrão irregular visível, o que identifica este tipo de célula. O processo de obtenção de Silício policristalino é menos sensível que o do monocristalino. Em contrapartida, as células policristalinas possuem, em geral eficiência menor que a das monocristalinas (ambas em torno de 13%).

- Células de Silício Amorfo

Estas células são feitas através da deposição de Silício vaporizado sobre uma superfície plana (aço inoxidável ou vidro). É o método de fabricação mais simples e mais barato, mas o de menor qualidade de resultados. Este tipo de célula, além de menor eficiência (em torno de 6%), também tem menor vida útil se comparada com as demais. São células de coloração uniforme e quase preta.

3.3 Módulo e Painel Fotovoltaico

- Módulo Solar

O módulo Solar é formado por uma matriz de células solares associadas de forma a produzir uma tensão desejada. As células são envoltas em EVA (etileno-vinil-acetato) e protegidas por vidro temperado de alta transparência tendo a parte traseira fechada por uma placa protetora. O sanduíche é laminado a alta temperatura e recebe, posteriormente uma moldura de alumínio.

A tensão típica de uma célula solar é de 0.595 V. Para se obter, portanto, uma tensão de utilização prática entre 14 e 17V, 30 a 36 células são associadas em série. Além de outras, as características normalmente fornecidas pelo fabricante do módulo solar são: tensão de operação, potência mínima, potência máxima, corrente de curto-circuito e capacidade Ah/dia aproximada.

- Painei Solar

O painei solar é o agrupamento de módulos solares de forma a se obter uma potência desejada, ou seja, dada a tensão de alimentação das cargas, o painei solar definirá o número de módulos a serem conectados em paralelo de forma a produzir uma corrente suficiente.

O painei solar contém o suporte que controla sua inclinação e posicionamento de acordo com o movimento do Sol em relação à superfície da Terra. A energia solar captada por uma superfície varia em função de inúmeros parâmetros, como a orientação da superfície em relação ao Sol, a hora do dia, o dia do ano, a latitude e as condições atmosféricas. Para uma maior captação da irradiação solar, os painéis devem ter uma certa orientação em relação ao azimute γ (ângulo entre a projeção da normal à superfície do painei no plano horizontal e o meridiano local, sendo 0° para o sul e 180° para o norte) do local a uma certa inclinação β (ângulo entre a superfície do painei e a horizontal do local), em relação à horizontal (ver figura 3.3.1 abaixo). Esta inclinação se reduz proporcionalmente à latitude do local de tal forma que para pequenas latitudes, a melhor inclinação pode ser até mesmo de 0 (zero) grau. Sabemos embora, que tal inclinação não é aconselhável devido ao acúmulo de poeira e conseqüente perda de eficiência por parte das células fotovoltaicas.

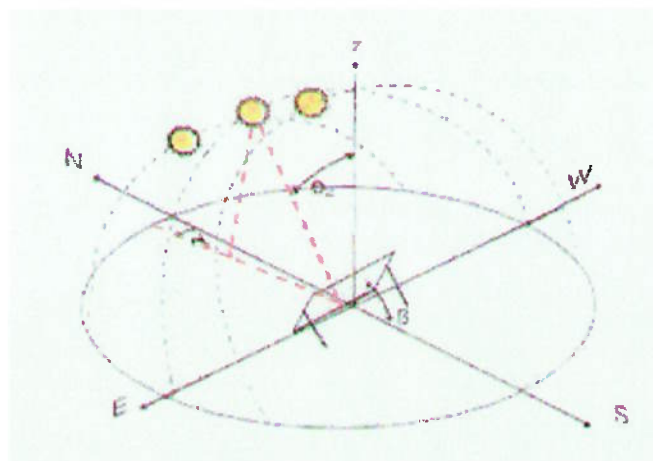


Figura 3.3.1 – Ângulos α , β e γ

Capítulo 4 - Sistemas Fotovoltaicos

4.1 Sistemas Isolados da Rede Elétrica Convencional

A aplicação da tecnologia fotovoltaica apresenta suas melhores soluções para o fornecimento de energia em sítios isolados e de difícil acesso, onde praticamente não existem outras fontes de energia. Nessas condições a energia não tem preço e a assistência técnica para manutenção de equipamentos, reparos ou substituição, é quase sempre inviável. Para esse tipo de aplicação existem inúmeros exemplos com soluções inventivas e bastante adaptáveis aos diversos níveis culturais das populações envolvidas.

Um uso que já vem sendo empregado em vários locais do Brasil e também em diversos outros países é a instalação de sistemas fotovoltaicos para suprir as necessidades energéticas de habitações de recreio, localidades pobres e isoladas, casas de campo, sinaleiros em estrada, sistemas isolados de telefonia, para pontos distantes de sinalização (tais como bóias estações polares de sinalização), estações retransmissoras de microondas, postos avançados de fiscalização de fronteiras, sistemas portáteis de geração de energia para expedições de busca e salvamento, ou mesmo geração de energia para veículos espaciais. Em todos os casos citados acima já é usual em todo o mundo pensar-se primeiro em sistemas fotovoltaicos.

Companhias de energia da Alemanha e da Holanda estão desenvolvendo programas de apoio a usuários que se interessem em instalar sistemas fotovoltaicos em suas residências de veraneio, possibilitando a venda da energia gerada nos períodos de ociosidade dessas unidades à rede de distribuição, em troca do uso da rede nas épocas de ocupação, o que dispensa o uso baterias para armazenamento de energia.

O bombeamento de água para consumo humano e para irrigação de culturas, são aplicações feitas em projetos já implantados no Nordeste. O que faz a relevância desse tipo de aplicação é a escassez das redes de distribuição de outros energéticos nas áreas rurais brasileiras. Para esses casos, a comparação econômica entre investimentos para extensão da rede de distribuição e aquisição de sistemas fotovoltaicos passa a ser um argumento positivo em favor da energia solar.

Porém, a despeito de uma análise econômica desfavorável existem situações em que a opção fotovoltaica é a única possível. Nesses "nichos de mercado" sugeriram as aplicações pioneiras no Brasil e foi a partir daí que se desenvolveu o mercado brasileiro para energia fotovoltaica.

O sistema solar fotovoltaico utilizado em comunidades isoladas da rede elétrica é constituído basicamente pelos seguintes componentes :

- Painéis Fotovoltaicos

São geradores elétricos constituídos por módulos solares, os quais são constituídos por células fotovoltaicas. Características como potência máxima, corrente e tensão em potência máxima, e tensão em circuito aberto são fornecidos. No capítulo 3 é apresentado um maior detalhamento sobre os painéis fotovoltaicos.

- Regulador de Carga

O regulador de carga é um dispositivo eletrônico que tem a função de controlar a carga das baterias fazendo com que as mesmas não sofram sobrecarga ou uma excessiva descarga. O uso de tal dispositivo aumenta a vida útil das baterias e mantém uma boa confiabilidade do sistema como um todo.

O funcionamento básico do regulador de carga baseia-se na regulação de tensão por modulação de largura de pulso (PWM – Pulse Width Modulation). A modulação PWM regula um nível médio de tensão ótimo de acordo com as características de acumulação de carga da bateria. Este método é relativamente novo se comparado com os métodos anteriormente utilizados para regulação de carga e se mostra o mais eficiente para tal fim. Na figura 4.1.1 é apresentado uma curva de modulação PWM, como pode ser observado, de acordo com a largura dos pulsos, obtém-se um nível médio de tensão desejado.

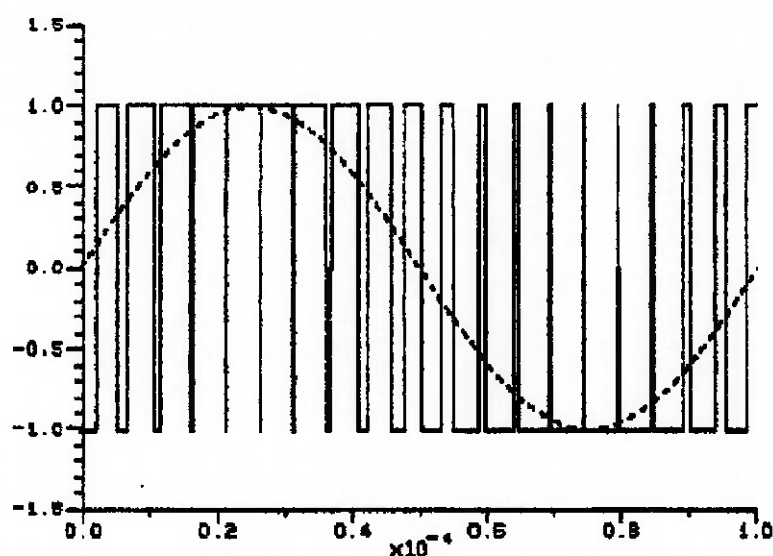


Figura 4.1.1 – Curva PWM

- Bateria

Os acumuladores de carga utilizados em aplicações fotovoltaicas são do tipo chumbo-ácido na maioria das vezes. Isto se deve ao fato de tais acumuladores serem utilizados em larga escala pela indústria automobilística, fazendo com que o seu preço seja menor. Existem também acumuladores que utilizam outros compostos químicos que são na maioria das vezes mais eficientes que os de chumbo-ácido porém apresentam um maior custo.

As baterias chumbo-ácido, quanto à aplicação, podem ser classificadas em duas categorias : automotivas (starting) e descarga profunda (deep-cycle). As baterias automotivas são projetadas para fornecer picos de elevadas corrente por curtos períodos, que resultam em uma pequena profundidade de descarga (10 a 15%). Embora quimicamente similar às baterias deep-cycle, ela pode Ter a sua vida útil reduzida se submetida a poucos ciclos de descargas profundas.

As baterias de descarga profunda são projetadas para suportarem descargas de até 80% de sua capacidade. Num sistema fotovoltaico o ciclo é diário, portanto a profundidade de descarga, em cada dia, irá definir o número de dias de vida da bateria. A figura 4.1.2 mostra uma curva típica de uma bateria deep-cycle.

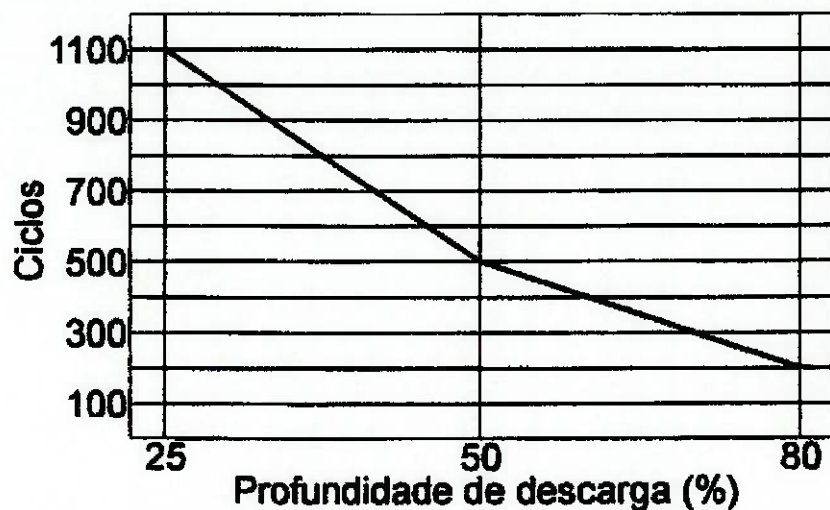


Figura 4.1.2 – Possibilidade de ciclos em função da profundidade de descarga

Conhecendo portanto, todos os componentes do sistema fotovoltaico isolado da rede elétrica convencional é apresentado na figura 4.1.3 um esquema deste sistema.

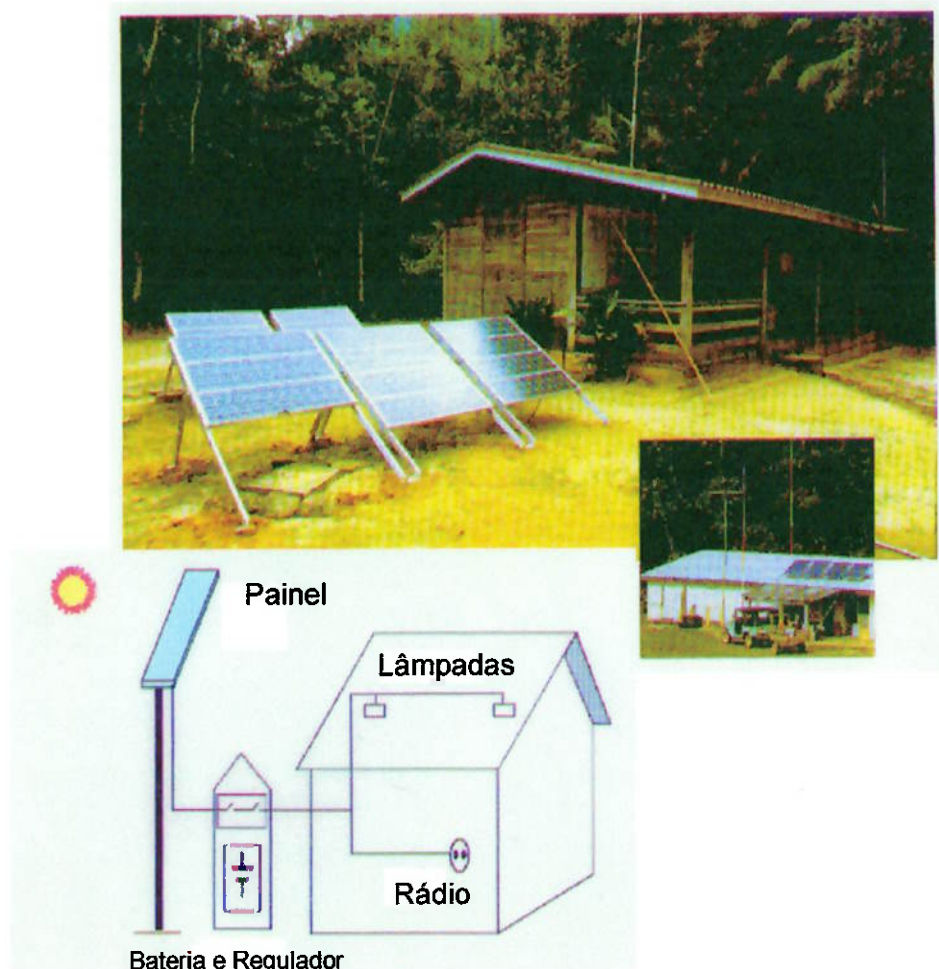


Figura 4.1.3 – Sistema Isolado

A seguir é apresentada a tabela 4.1.1 que compara qualitativamente o sistema solar fotovoltaico à rede elétrica convencional.

Tabela 4.1.1– Vantagens e Desvantagens do Sistema Isolado

Principais Vantagens e Desvantagens de Sistemas Isolados		
Sistema	Vantagens	Desvantagens
Rede Elétrica Convencional	• Não requer armazenamento elétrico • Extensa utilização, facilidade de compra • Baixo custo de instalação quando a rede está presente	• Altos custos referentes a extensão da rede • Impactos ambientais na construção da rede elétrica e na geração. • Necessidade de pessoal técnico para manutenção
Solar Fotovoltaico	• Não requer combustível • Operação autônoma • Longa vida útil • Baixo impacto ambiental na geração • Pouca ou nenhuma necessidade de manutenção • Caráter modular	• Armazenamento elétrico (acumuladores) • Necessidade de pessoal técnico para manutenção • Alto investimento inicial

4.2 Bombeamento Fotovoltaico

As bombas hidráulicas são dispositivos mecânicos cuja finalidade é realizar deslocamento de um líquido por escoamento transformando trabalho em energia potencial gravitacional. Dependendo de como tais equipamentos realizam o escoamento, ou seja, dependendo da pressão e da velocidade, pode-se classificar as bombas hidráulicas em duas categorias básicas: bombas centrífugas ou turbo-bombas e bombas de deslocamento positivo.

Motores são necessários para fornecer força motriz às bombas constituindo-se os conjuntos moto-bombas. Além dos já citados, e mais amplamente utilizados motores diesel, existem os motores elétricos, os quais podem ser mais baratos e mais confiáveis, exigindo também, menores custos de operação, já que não utilizam combustíveis fósseis. Os motores elétricos dividem-se, basicamente em três tipos: Motores em corrente alternada, motores em corrente contínua com escovas e motores em corrente contínua sem escovas, este mais eficiente e mais confiável que os primeiros.

O bombeamento realizado por conjunto moto-bomba alimentado por gerador fotovoltaico é conhecido por seus elevados custos de implantação, quando comparados à rede elétrica convencional já instalada, porém, trata-se de um sistema altamente confiável e com necessidade de pouca ou quase nenhuma manutenção.

O sistema solar fotovoltaico utilizado em irrigação agrícola é constituído basicamente por:

- Painéis Fotovoltaicos

Como descrito no capítulo 3, são geradores elétricos constituídos por módulos, os quais são constituídos por células fotovoltaicas. Características como potência máxima, corrente e tensão em potência máxima, e tensão em circuito aberto são fornecidos. No caso do território nacional, basta direcioná-lo para o norte com uma inclinação em relação ao solo de 15° para impedir o acúmulo de poeira. Tal facilidade se deve à privilegiada posição geográfica do Brasil, e principalmente, do Estado de São Paulo.

- Conversor CC-CC

Consiste em um equipamento eletrônico que é alimentado por uma potência (tensão e corrente) CC e fornece, em sua saída, diferentes níveis de tensão e corrente, também em CC. Este dispositivo realiza um “chaveamento” eletrônico a altas frequências (muitas vezes por largura de pulso) capaz de controlar o valor médio da tensão CC na saída. O conversor realiza a conexão entre o gerador solar e o grupo moto-bomba CC.

- Inversor CC-CA

O inversor, também conhecido por conversor CC/CA, converte energia elétrica a corrente contínua em energia elétrica a corrente alternada através de osciladores eletrônicos a tiristores controlados. Inversores com saída senoidal, 60 Hz e baixa distorção harmônica são requeridos para a conexão com a rede elétrica pertencente à concessionária de energia elétrica convencional do local.

A baixa distorção harmônica é fundamental nas considerações de um projeto de conexão à rede, já que a qualidade da energia em corrente alternada deve seguir os padrões fornecidos pela concessionária.

A poucos anos, inversores eram caros, pouco confiáveis, de baixa eficiência e de aplicação bastante limitada. Hoje os inversores tem um custo baixo, eficiência maior que 90%, distorção menor que 5%, boa confiabilidade e recomendado para todas as aplicações de uso residencial.

- **Moto-Bombas em Corrente Contínua**

São alimentadas através do conversor CC-CC acoplado ao gerador solar. Como trata-se de motores em corrente contínua, nas melhores instalações sem escovas, são motores de tecnologia recente, muito confiáveis e um pouco caros se comparados às moto-bombas comerciais em corrente alternada.

- **Moto-Bombas em Corrente Alternada**

São bombas facilmente encontradas, de baixo custo e podendo ser ligadas à rede elétrica convencional. Nos casos em que pretende-se conectá-las aos sistemas geradores fotovoltaicos, se faz necessário um Inversor CC-CA, o que pode encarecer o custo de instalação do sistema.

Abaixo há um quadro qualitativo, tabela 4.2.1, de vantagens e desvantagens da energia fotovoltaica e da rede convencional. Apesar do bombeamento diesel ser um dos sistemas utilizados no ambiente rural, não será analisado com mais detalhes neste trabalho em virtude dos altos custos dos combustíveis fósseis e de seu evidente impacto ambiental relativo à emissão de gases tóxicos.

Tabela 4.2.1– Vantagens e Desvantagens do Sistema de Bombeamento

Principais Vantagens e Desvantagens de Sistemas de Bombeamento		
Sistema	Vantagens	Desvantagens
Rede Elétrica Convencional	- Baixo custo inicial do grupo moto-bomba - Não requer armazenamento elétrico ou do recurso hídrico - Extensa utilização, facilidade de compra - Baixo impacto ambiental no bombeamento	- Altos custos referentes a extensão da rede - Impactos ambientais na construção da rede elétrica e na geração - Necessidade de pessoal técnico para manutenção
Solar Fotovoltaico	- Não requer combustível - Operação autônoma - Longa vida útil - Boa relação entre disponibilidade energética e demanda hídrica - Baixo impacto ambiental na geração - Pouca ou nenhuma necessidade de manutenção - Caráter modular	- Armazenamento de água / elétrico - Necessidade de pessoal técnico para manutenção - Alto investimento inicial

O sistema de bombeamento fotovoltaico é apresentado na figura 4.2.1 através de um esquema ilustrativo.

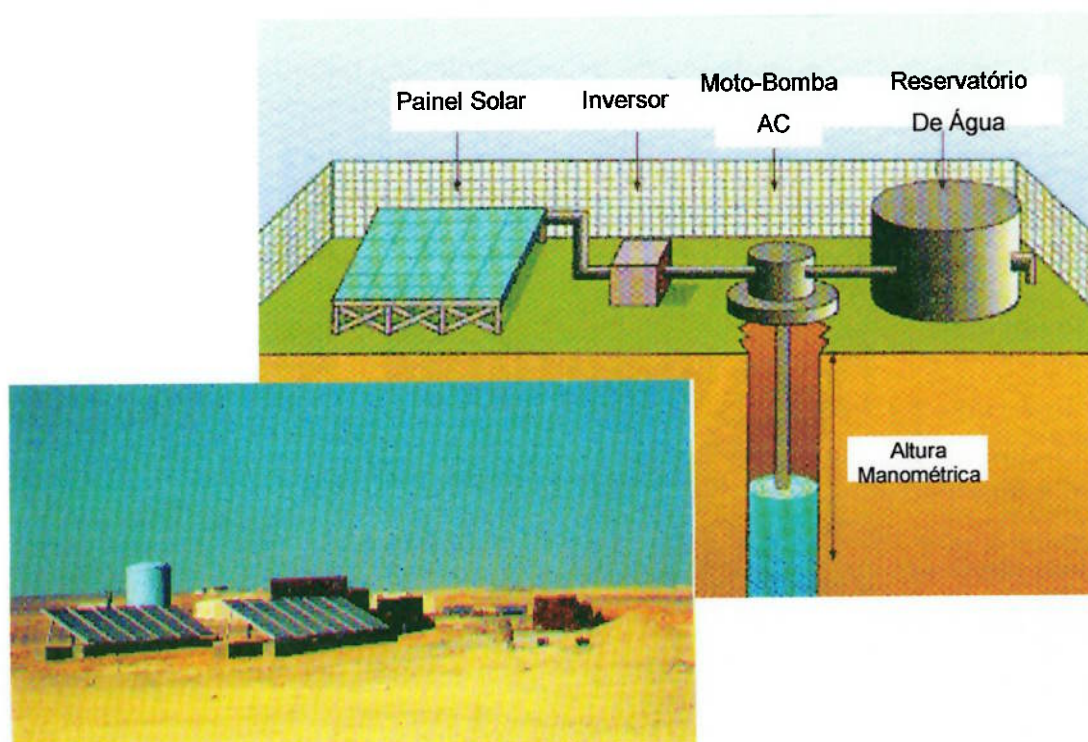


Figura 4.2.1 – Sistema de Bombeamento

4.3 Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica

O sistema conectado à rede tem como característica básica a inserção da energia transformada pelos painéis fotovoltaicos na rede elétrica convencional. Este sistema é relativamente novo e encontra suas maiores aplicações nos grandes centros urbanos. A idéia envolvida está inserida no conceito de geração distribuída de energia elétrica, no qual a soma de pequenas contribuições de painéis espalhados pelos diversos pontos de consumo aumentam, de forma geral, a oferta de energia elétrica.

Esta opção deve ser considerada em relação a construção de usinas geradoras tradicionais (hidrelétricas, termelétricas, nucleares, etc...) levando em conta ainda, o não impacto ambiental e as reduções dos custos de transmissão e distribuição. Por enquanto esta opção esbarra em questões de regulamentação, pois não há nenhuma regra para inserção de energia na rede. Um exemplo seria a indefinição dos preços de compra e venda de energia, o que poderia causar prejuízos às concessionárias de energia.

O sistema conectado à rede é constituído basicamente pelos seguintes elementos :

- Painéis Fotovoltaicos
- Inversor CC-CA

Ambos os elementos acima já foram descritos em capítulos anteriores.

- Controle de Qualidade de Energia

Este módulo tem como função a verificação da qualidade da energia inserida na rede, ou seja, os níveis de tensão e harmônicos inseridos pelo inversor. A importância deste equipamento está no fato de que uma energia de má qualidade poderia causar danos à rede prejudicando o sistema como um todo.

Este módulo é constituído basicamente por uma placa de aquisição de dados acoplada a um microcomputador com software de análise apropriado.

A figura 4.3.1 ilustra um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica, valores típicos para São Paulo de geração fotovoltaica, consumo doméstico e superfície de auto suficiência (área na qual a compra de energia da rede equivale a venda de energia gerada pelo painel) são apresentados.

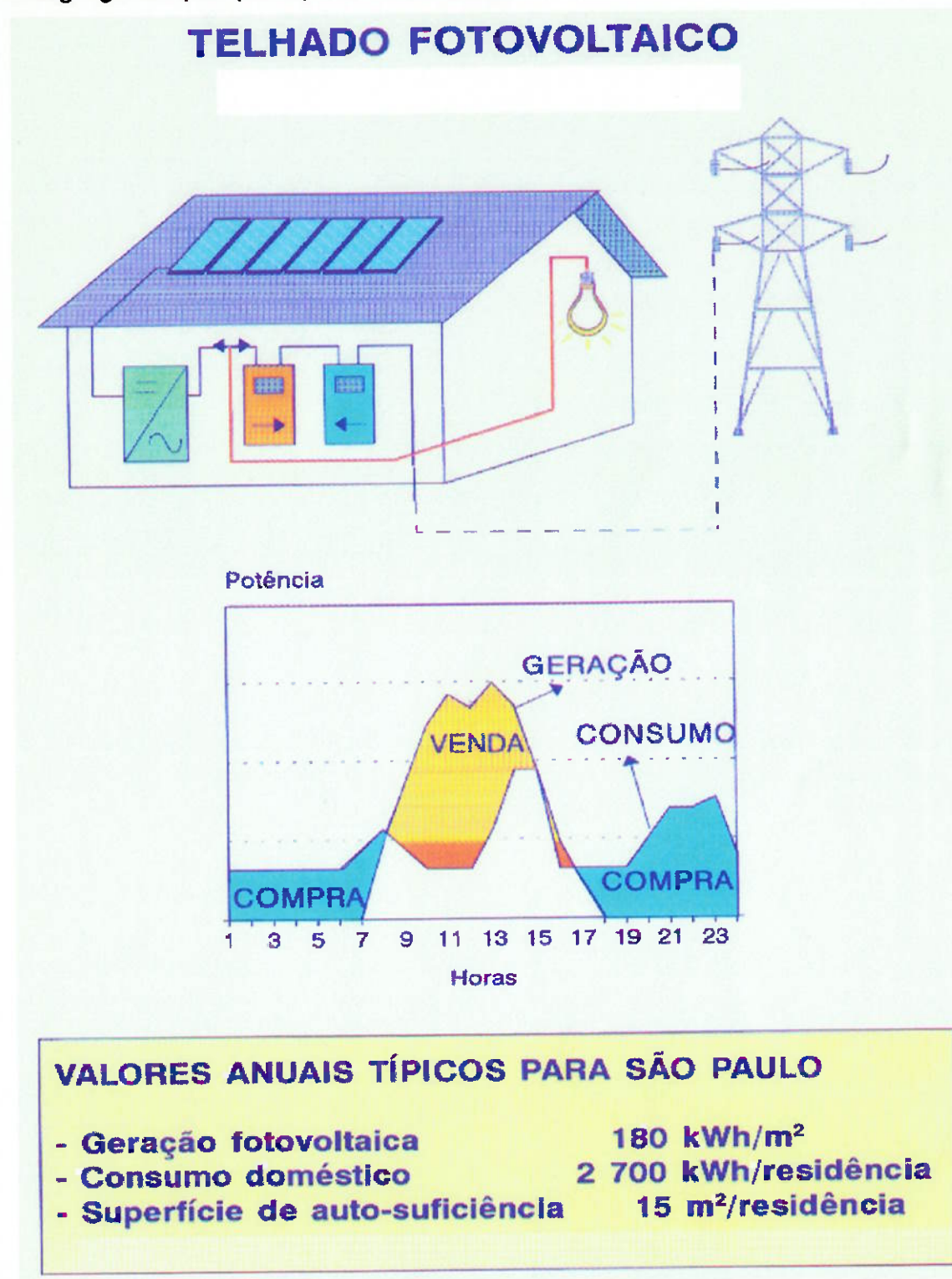


Figura 4.3.1 – Sistema Conectado à Rede Elétrica

4.4 Pesquisa Realizada Pelo IEE Sobre Sistemas Fotovoltaicos

Os sistemas geradores solares fotovoltaicos são, hoje, uma opção à solução de problemas relacionados à questão energética mundial e , principalmente, nacional. O Brasil possui diversas regiões não abastecidas por eletricidade, das quais, algumas estão aptas por questões principalmente políticas e/ou econômicas, a receber energia elétrica, em um futuro próximo, por ampliação de redes elétricas convencionais (na sua maioria, com geração hidráulica), assim como possui regiões fora dos planos, governamentais ou de empresas concessionárias de serviços elétricos, relativos ao abastecimento elétrico.

Entretanto, outro problema a ser discutido, é o referente ao crescimento da demanda de energia elétrica em relação à sua oferta nas regiões urbanas do país. A energia solar pode e deve ser avaliada como solução para tais problemas, institutos de pesquisa, universidades e empresas tem estudado e apresentado soluções utilizando esta forma limpa e inesgotável de se obter energia elétrica. É o caso do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, que sob os cuidados do Prof. Dr. Roberto Zilles (Politécnica de Madrid) , realiza uma importante pesquisa aplicada na área solar fotovoltaica.

Foram realizadas duas visitas técnicas ao Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo (IEE - USP) nos dias 05 e 21 de maio de 1999, sob a supervisão do Prof. Dr. Miguel Edgar Morales Udaeta e explanação do Prof. Dr. Roberto Zilles, coordenador do projeto solar fotovoltaico do PIPGE / IEE - USP.

Foi abordada a geração de energia solar fotovoltaica e suas principais aplicações, dentre as quais, duas filosofias de implantação de sistemas solares fotovoltaicos; a primeira se refere a implantação de sistemas solares em comunidades isoladas da rede elétrica convencional. A segunda, pelo contrário, se refere à implantação de sistemas solares em grandes centros urbanos de forma híbrida, ou seja, dentro do conceito de geração distribuída de energia elétrica.

O sistema gerador solar utilizado em comunidades isoladas da rede elétrica convencional, mostrado na figura 4.4.1, é composto por painel fotovoltaico, regulador de tensão (O PIPGE / IEE possui um regulador desenvolvido no próprio Instituto) e baterias chumbo-ácido de uso prolongado. O regulador de tensão é de vital importância para o bom desempenho do sistema, já que controla o carregamento da bateria de forma correta e o abastecimento das cargas alimentadas pelo sistema (lâmpadas, TV, rádio e outros).

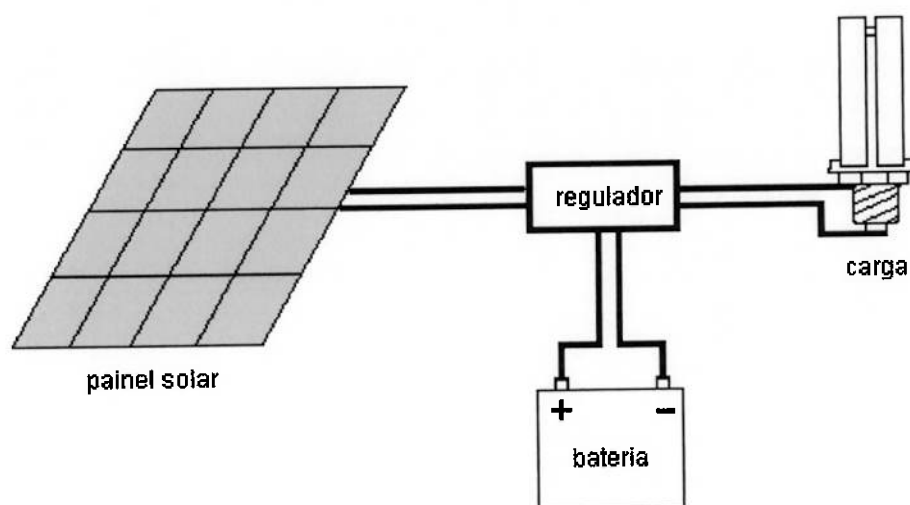


Figura 4.4.1– Sistema Isolado

O Instituto realiza pesquisa aplicada em comunidades da região sudeste e nordeste do Brasil, levando às mesmas, energia elétrica gerada por painéis fotovoltaicos. Também é fornecida assistência e treinamento às comunidades para que sejam auto suficientes com relação à manutenção e operação do sistema. Lâmpadas, rádios e bombas d'água, são as principais cargas utilizadas.

O IEE possui, além de tudo, uma “casa solar”, em processo de implementação, para o desenvolvimento da pesquisa. A casa, situada nas dependências do Instituto, possui um painel solar de aproximadamente 400 Wp, regulador de carga, banco de baterias e um conversor DC-AC, pois possui alimentação para cargas DC (lâmpadas) e, em fase de implementação, para cargas AC (TV, rádio).

O sistema solar fotovoltaico utilizado em centros onde há rede elétrica, mostrado na figura 4.4.2, consiste em painel fotovoltaico e conversor DC-AC com baixa distorção harmônica. A pesquisa realizada no Instituto, com o auxílio de um sistema de 650 Wp montado também nas dependências do mesmo, mostra que é possível “injetar” potência na rede elétrica convencional a um custo de US\$ 300 / MWh na mesma proporção que esta é consumida nos períodos noturnos a um custo aproximado de US\$ 150 / MWh notando que os custos do painel solar, os quais representam 60% do custo do sistema, apresentam perspectivas decrescentes a curto prazo, segundo dados do Prof. Zilles.

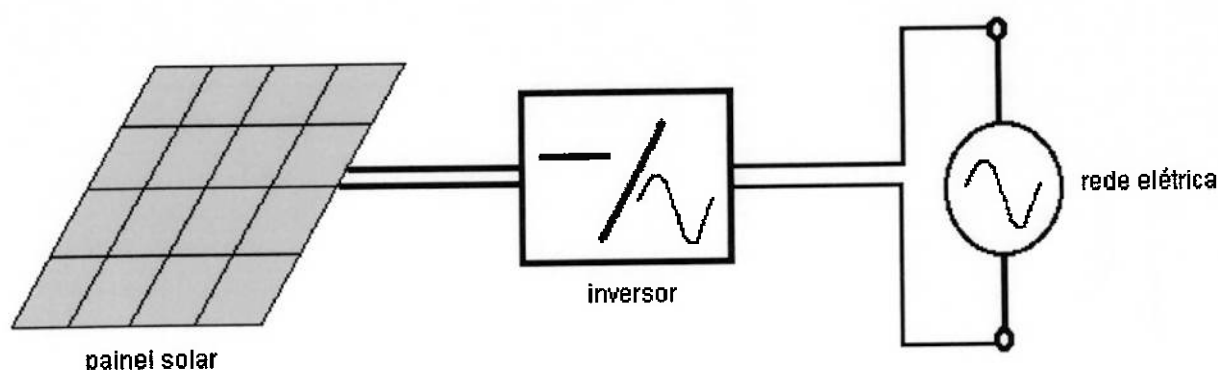


Figura 4.4.2– Sistema Conectado à Rede

O instituto possui um sistema gerador fotovoltaico trabalhando em paralelo com a rede elétrica instalada no local. O equipamento é composto por um painel solar Siemens de 650 Wp, equipamento de proteção como disjuntores e fusíveis, um inversor de baixa distorção harmônica (5%) e relógios para medição das potências recebidas e fornecidas a rede elétrica. Através de um microcomputador, a dinâmica do sistema é observada e estudada com o auxílio de um software específico. Além do microcomputador, lâmpadas fluorescentes e um ar condicionado são alimentados pelo painel solar.

A energia solar fotovoltaica é uma solução atual aos problemas referentes à questão energética. Devemos analisá-la com muito cuidado, pois o que nos parece à primeira abordagem, é que se trata de um sistema completamente viável, inclusive com relação aos custos aparentemente elevados. Isto é mais claro quando se trata de sistemas fotovoltaicos isolados, onde sua instalação é recomendada para regiões desprovidas da rede elétrica convencional. No caso de sistemas conectados à rede elétrica, deve-se fazer um estudo mais aprofundado da viabilidade da implantação de tais sistemas em centros urbanos .

As visitas realizadas ao Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP foram de vital importância para a compreensão básica do funcionamento e aplicação dos sistemas fotovoltaicos. Cabe aos estudantes interessados no assunto, um maior aprofundamento nas questões referentes aos sistemas solares.

Capítulo 5 – Análise Econômico-Financeira e Planejamento do Recurso Aplicado à Região do MPP

Este capítulo irá comparar o sistema solar fotovoltaico isolado com o MRT e também com os custos referentes aos atuais recursos utilizados na região. Também será feito um planejamento de instalação da energia solar fotovoltaica para o futuro com base nas atuais projeções da região.

Com base na tabela 2.3.3, pode-se perceber que 42,37% das unidades de produção agropecuárias do MPP não possuem energia elétrica. Sendo assim, será feita uma análise econômico-financeira somente do sistema solar fotovoltaico isolado da rede elétrica convencional em comparação com a extensão da mesma.

O sistema isolado vem para auxiliar famílias muito pobres e que vivem com uma economia de subsistência. A fonte de energia luminosa destas famílias se dá basicamente por lamparinas à querosene e velas e o meio de comunicação que estas pessoas utilizam é o rádio a pilhas. O gasto médio mensal para compra destes elementos (querosene, velas e pilhas) é da ordem de R\$20,00 mensais (dados fornecidos pelo Prof. Dr. Roberto Zilles do IEE-USP).

A análise financeira das opções é feita através do cálculo de algumas figuras de mérito que equiparam os custos de investimento, de reposição e de operação e manutenção dos diferentes sistemas, para um mesmo período de vida útil do projeto.

As Figuras de Mérito foram extraídas e compiladas de vários autores, bem como de disciplinas ministradas no Programa de Pós-Graduação e Energia IEE-USP.

- **Figuras de Mérito**

As figuras de mérito utilizadas no trabalho de avaliação são basicamente o Custo do Ciclo de Vida, Custo do Ciclo de Vida Anualizado. Para a execução de tais cálculos utiliza-se também o Fator de Recuperação de Capital para determinadas Taxas de Desconto, ao longo da vida útil dos sistemas.

- **Custo do Ciclo de Vida**

Custo do Ciclo de Vida (CCV, apresentado na fórmula 5.1) é o valor presente de todos os custos associados com o investimento, reposição, operação e manutenção ao longo da vida útil do projeto. O CCV determina o custo total do investimento levando em conta o valor do dinheiro no tempo em função da taxa de desconto utilizada.

$$CCV = I_0 + O \& M \cdot \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} \right] + BA \cdot (1+i)^{-n}$$

Fórmula 5.1– Fórmula do Custo do Ciclo de Vida

Onde :

I_0 - Custo do investimento inicial (US\$).

O&M - Custo em Operação e Manutenção (US\$).

i - Taxa de desconto (% ao ano).

n - Vida útil (anos).

BA - Custo das Baterias (US\$).

- **Taxa de desconto**

A taxa de desconto (i , fórmula 5.2) é o índice pelo qual estima-se o valor presente de determinada quantidade de moeda no futuro. A taxa de desconto oferece uma indicação do nível de aproveitamento das oportunidades de investimento econômico da sociedade.

$$i = \left(\frac{VP}{VF} \right)^{\frac{1}{n}} - 1$$

Fórmula 5.2– Taxa de Desconto

Onde :

VP - Valor presente.

VF - Valor futuro.

n - Número de períodos (anos).

- **Custo do Ciclo de Vida Anualizado**

O Custo do Ciclo de Vida Anualizado (CCVA, fórmula 5.3) é o custo anual requerido para o pagamento total do investimento ao longo de sua vida útil. Pode ser calculado como sendo o produto entre o Custo do Ciclo de Vida e o Fator de Recuperação de Capital onde:

$$CCVA = CCV \cdot FRC$$

Fórmula 5.3– Custo do Ciclo de Vida Anualizado

- **Fator de Recuperação do Capital**

Fator de Recuperação de Capital (FRC, fórmula 5.4) é o índice pelo qual o investimento total do projeto é recuperado anualmente em função de uma determinada taxa de desconto, dentro de seu período do vida útil.

$$FRC = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad \text{ou} \quad FRC = \frac{i}{1 - (1+i)^{-n}}$$

Fórmula 5.4– Fator de Recuperação do Capital

Com base nos dados fornecidos pelo Prof. Dr. Roberto Zilles do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, obteve-se as informações de custeamento apresentadas na tabela 5.1.

Tabela 5.1– Custo do Sistema Isolado

Dispositivo	Custo
Módulo Solar	7 US\$ / Wp
Bateria	1 US\$ / Ah
Regulador	100 US\$ até 10A ou 200 US\$ até 20A

A divisão dos custos levando-se em conta a instalação e as lâmpadas com conversores eletrônicos pode ser vista na figura 5.1.

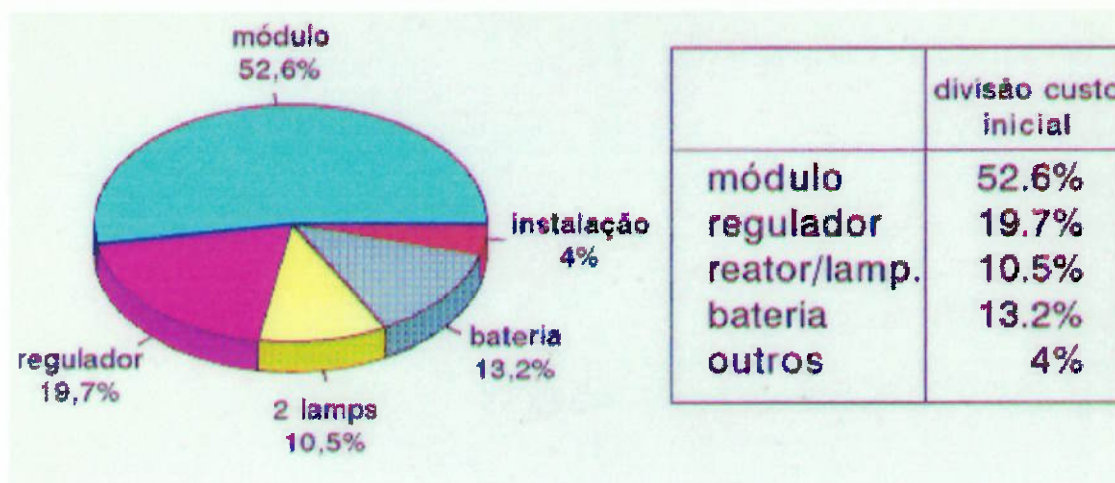


Figura 5.1– Comparação de Custos do Sistema Isolado

Com relação à vida útil dos dispositivos, a tabela 5.2 traz as informações do módulo, regulador de carga e bateria.

Tabela 5.2– Vida Útil dos Equipamentos

Dispositivo	Vida Útil [Anos]
Módulo Solar	20
Bateria	3
Regulador	20

Com base nos dados acima, será feita a análise econômico-financeira do sistema isolado para um tempo de vida útil de 20 anos com substituição de baterias a cada 3 anos. Para isso serão analisadas duas situações distintas :

- Consumo Residencial de 150 Wh / Dia Resultando em 4,5 KWh / Mês.
- Consumo Residencial de 300 Wh / Dia Resultando em 9,0 KWh / Mês.

Em ambas as situações, a energia será utilizada para iluminação e equipamento de rádio. Para determinação da potência instalada, ou seja, da potência do painel solar, segundo dados medidos no Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP, pode-se dizer que o valor de incidência média para São Paulo é de 3,2 horas de irradiação a 1000 W/m^2 , ou melhor, 3,2 horas de irradiação produzindo potência máxima (Watt-pico) na saída dos painéis.

Considerando que a máxima descarga possível da bateria para este caso é de 50%, e que por segurança, a bateria deve ser capaz de suportar a carga por seis dias sem insolação, foram obtidos os dados da tabela 5.3 e 5.4. Para maior detalhamento do dimensionamento, pode-se verificar o anexo I.

Na tabela 5.3 pode ser verificado o custo para o sistema de 150 Wh.

Tabela 5.3– Custos para o Sistema de 150 Wh

Dispositivo	Custo [US\$]
Módulo Solar (48W)	336
Bateria (150Ah)	150
Regulador	100
TOTAL	586

Na tabela 5.4 pode ser verificado o custo para o sistema de 300 Wh.

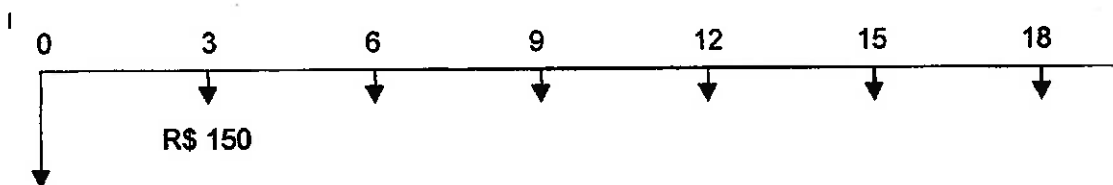
Tabela 5.4– Custos para o Sistema de 300 Wh

Dispositivo	Custo [US\$]
Módulo Solar (48W)	672
Bateria (150Ah)	300
Regulador	100
TOTAL	1072

- Para o sistema de 150Wh / Dia, tem-se :

$i=12\%$

4,5 KWh/mês



$$CCV = 586 + \left(150 \cdot \left[\frac{1}{(1+i)^3} \right] \right) + \left(150 \cdot \left[\frac{1}{(1+i)^6} \right] \right) + \dots + \left(150 \cdot \left[\frac{1}{(1+i)^{18}} \right] \right)$$

$$CCVA = FRC \cdot CCV \quad e \quad FRC = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

$$CCVA = 0,1338 \cdot 903,5 = US\$120,88$$

Dividindo-se os US\$120,88 por 12 meses, obtém-se :

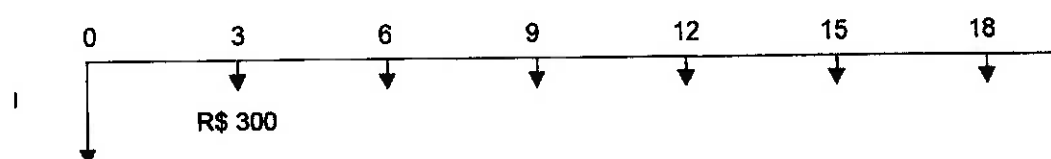
$$Custo \ Mensal = US\$10,00$$

Tomando como base a cotação do Dólar de Novembro de 1999 (período em que este trabalho foi finalizado) chega-se ao valor de:

$$Custo \ Mensal = R\$20,00$$

- Para o sistema de 300Wh / Dia, tem-se :

9,0 KWh/mês



$$CCV = 1072 + \left(300 \cdot \left[\frac{1}{(1+i)^3} \right] \right) + \left(300 \cdot \left[\frac{1}{(1+i)^6} \right] \right) + \dots + \left(300 \cdot \left[\frac{1}{(1+i)^{18}} \right] \right)$$

$$CCVA = FRC \cdot CCV \quad e \quad FRC = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

$$CCVA = 0,1338 \cdot 1707 = US\$228,39$$

Dividindo-se os US\$228,39 por 12 meses, obtém-se :

$$Custo \ Mensal = US\$19,00$$

$$Custo \ Mensal = R\$38,00$$

De posse dos custos mensais da instalação da energia solar fotovoltaica para sistemas isolados, serão apresentados os dados do MRT para comparação e estudo da viabilidade.

Segundo o Grupo de Energização Rural do Departamento de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica tem-se um custo de R\$ 1.450,00 por consumidor para a seguinte linha de MRT :

- 3 consumidores por quilômetro ;
- 3 kVA por consumidor ;
- 2 consumidores por transformador.

Com base nestes dados é apresentada a tabela 5.5 e assim pode-se obter a figura 5.2 que é a curva de R\$/km comparando os sistemas MRT e solar isolado.

Tabela 5.5– Comparação entre o MRT e o Sistema Solar Fotovoltaico Isolado

	Sistema MRT						Solar Isolado
Quilômetros	1	3	6	9	10	11	Independe
Energia [Wh]	9.000	9.000	9.000	9.000	9.000	9.000	300
Custo Total [R\$]	1.450,00	4.350,00	8.700,00	13.050,00	14.500,00	15.950,00	456,00
Custo / Energia	0,16	0,48	0,97	1,45	1,61	1,77	1,52

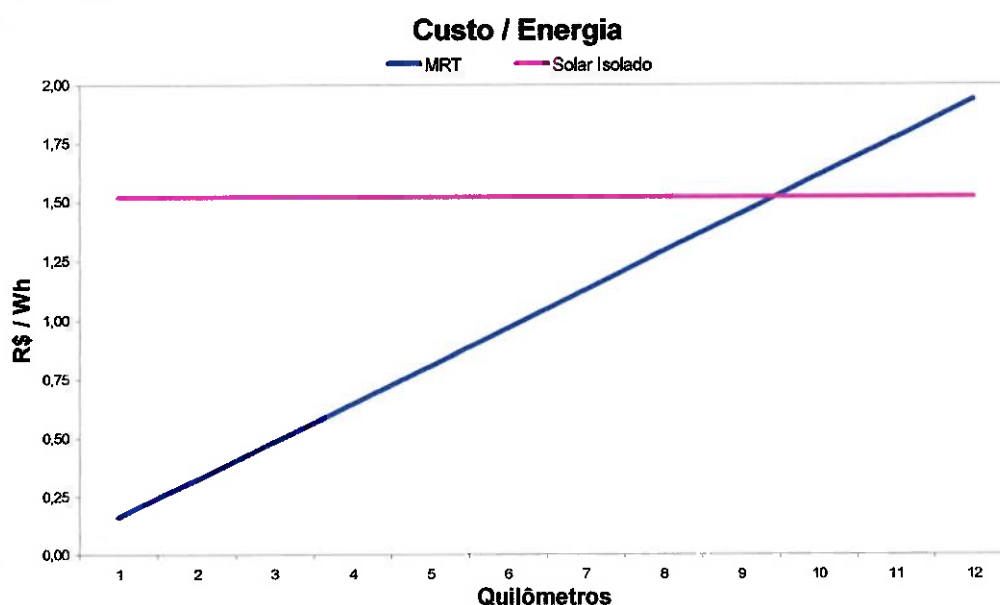


Figura 5.2– Comparação Entre o MRT e o Sistema Solar Isolado

Como pode ser observado na figura 5.2 a partir de 9,5 km de distância da rede elétrica o sistema solar fotovoltaico isolado passa a se economicamente viável em relação ao MRT. Isto é apenas um indicativo econômico, não fazendo com que investimentos em regiões onde a distância seja inferior a 9,5 km seja descartado por completo. Deve-se observar que tal comparação restringe-se a energização de menos de 3 consumidores isolados.

Com base na tabela 2.3.2 tem-se uma projeção de consumo reprimido para a região do MPP para o ano de 2005 de 158,3 GWh. A energia solar fotovoltaica é capaz de gerar 180kWh/m² por ano (dados fornecidos pelo Prof. Dr. Roberto Zilles do IEE-USP). Fazendo-se um planejamento para o atendimento de toda o déficit de energia para a região, seria necessário a implantação de aproximadamente 180.000m² de painéis fotovoltaicos por ano durante o período de 5 anos, conseguindo-se em 2005 a total cobertura do déficit já citado. A tabela 5.6 apresenta o sistema

Tabela 5.6– Planejamento para a Região do MPP

	Planejamento					
Ano	2000	2001	2002	2003	2004	Total
Área [m ²]	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000	900.000
Energia [GWh]	32,4	32,4	32,4	32,4	32,4	162
Acumulado [GWh]	32,4	64,8	97,2	129,6	162	-

Capítulo 6 – Conclusões e Considerações Finais

A falta de energia elétrica representa hoje um grave problema social em diversas regiões do Brasil, dentre as quais se encontra a Região do Médio Paranapanema. Através da tabela 2.3.2, pode-se perceber que existe um déficit de energia estimado para 2005 da ordem de 158,83 GWh, o qual poderia ser integralmente suprido por painéis solares fotovoltaicos que cobririam uma área estimada de 900.000 m².

É evidente, através de todas as considerações estudadas neste trabalho, que a energia solar pode ser considerada como recurso a ser utilizado na solução do problema energético da região. Eficiência, confiabilidade, inexistência de impacto ambiental e de manutenção, são fatores que contribuem para a escolha de tal sistema como alternativa energética.

De acordo com os estudos realizados no capítulo 5, observa-se que a energia solar ainda apresenta custos elevados quando comparados com os sistemas tradicionais de geração e distribuição de energia elétrica. Tais custos apresentam uma perspectiva de queda bastante acentuada para os próximos 10 anos, o que viabilizará uma série de projetos atualmente impensáveis.

No tocante aos sistemas isolados, alvo da análise feita no capítulo anterior, já foram e continuam sendo implantados diversos projetos de Institutos e Universidades por todo o território nacional. São exemplos :

- O projeto de eletrificação de residências isoladas implantado no Vale do Ribeira (São Paulo) pelo IEE-USP, o qual obteve reconhecimento internacional.
- Projetos da Universidade Federal da Bahia para eletrificação do sertão nordestino, o qual foi citado em diversos meios de comunicação em Setembro de 1999.

Percebe-se que para determinadas regiões muito afastadas de redes de alimentação de baixa tensão, o sistema solar torna-se viável economicamente, e talvez a alternativa mais interessante do ponto de vista ambiental, técnico e social. Este é o caso de algumas áreas da Região do Médio Paranapanema com distâncias superiores a 10 km da rede elétrica convencional.

Este trabalho procurou analisar aspectos técnicos e econômicos visando ser uma referência para estudos futuros na área da energia solar fotovoltaica aplicadas a regiões onde exista a problemática energética. Tais aspectos são de fundamental importância para a tomada de decisão, no âmbito da engenharia, de soluções concretas, factíveis tecnicamente e viáveis economicamente.

Capítulo 7 - Bibliografia

- [1] CERAGIOLI, PAULO CESAR, **“Manual de Energia Solar Fotovoltaica”**, SIEMENS. 1997. 112 páginas.
- [2] GIMENEZ, ANDRÉ LUIZ VEIGA; BONZOI, EDUARDO ESTEFANO, **“Planejamento do GLD para o MPP”**, Relatório Final do Projeto de Formatura. 1997. 81 páginas.
- [3] AMARO, RENATO CITRINI; SILVA, RODRIGO CARLANA da, **“Estudo em Precificação e Tarifação Como Recurso Energético Para as Regiões com Características Similares ao Médio Paranapanema”**, Relatório Final do Projeto de Formatura. 1998. 85 páginas.
- [4] FERREIRA, MARIA JULITA GUERRA, **“Inserção da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil”**, Tese de Mestrado . 1993. 156 páginas.
- [5] REIS, LINEU B.; UDAETA, MIGUEL E.M., **“Planejamento integrado de recursos energéticos dirigido à energia elétrica para a região do Médio Paranapanema do Estado de São Paulo”**. In : O MÉDIO PARANAPANEMA E POLÍTICA DO NOVO GOVERNO, Assis, 1995. Plano de Pesquisa . São Paulo. 1995.
- [6] GALVÃO, L.C.R.; REIS,LINEU B.; UDAETA, MIGUEL E.M., **“Integrated Resource Planning in the Middle Paranapanema Region with emphasis to Eletric Energy”**.In: 1996. International World Energy System Conference, June 19-21, Toronto, Canada.
- [7] GALVÃO, L.C.R.; REIS,LINEU B.; UDAETA, MIGUEL E.M., **“Fundamentos para o planejamento Integrado de recursos numa Região de Governo do Estado de São Paulo apontando a Energia Elétrica”**. In : VII Congresso Brasileiro de Energia, 1996, Rio de Janeiro.
- [8] H.S. STEPHENS & ASSOCIATES., **“Fourteenth European Photovoltaic Solar Energy Conference”** , June – July 1997.

- [9] JOHANSSON, THOMAS B.; KELLY, HENRY ; REDDY, AMULYA K. N. ; WILLIAMS, ROBERT H., **"Renewable Energy, Sources for Fuels and Electricity"** Island Press, USA, 1993
- [10] **Laboratório de Energia Solar**, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - Santa Catarina – Brasil, www.labsolar.ufsc.br
- [11] **CEPEL**, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, www.cepel.br
- [12] **Heliodinâmica S/A**, www.heliodinamica.com.br
- [13] M. SPENCER, **"Energia Solar"**, Editora melhoramentos, 1997.
- [14] PLOBET, JOSÉ MON PIN, **"Energia Solar Fotovoltaica"**, Editora Baixareu, 1997
- [15] SABADY, P.R., **"Energia Solar na Habitação"**, Editora CETOP, 1998
- [16] COMETTA, EMÍLIO, **"Energia Solar"** , Editora Melhoramentos, 1997
- [17] OLIVEIRA, SÉRGIO HENRIQUE FERREIRA , **"Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos Autônomos: Ênfase na Eletrificação de Residências de Baixo Consumo"**, Dissertação de Mestrado, PIPGE – IEE – USP, Brasil, 1997
- [18] FEDRIZZI, MARIA CRISTINA, **"Fornecimento de Água com Sistemas de Bombeamento Fotovoltaicos"**, Dissertação de Mestrado, PIPGE – IEE – USP, Brasil, 1997.
- [19] **Projeto LUPA - SAA/SP**, www.agricultura.sp.gov.br.
- [20] DUTT, GAUTAM S., **"Techniques for End-Use Electricity Analysis and Conservation Program Design and Evaluation"**
- [21] **SEICT**, Sistemas Estaduais de Informação Científica e Tecnológica, 200.18.106.106/htdocs/municipios/regiao.cgi

[22] LARSON, ERIC D., **"The Technology Menu for Efficient End Use of Energy"**

[23] IBGE, www.ibge.org/geocientifica/Territ/perfil/munic/SPdens.htm

ANEXO I - Estimativa de Consumo Para um Sistema Isolado

Para se determinar todos os equipamentos necessários e obter o aproveitamento correto da energia desde a sua captação por painéis solares, o seu armazenamento em baterias adequadas e a sua utilização através dos aparelhos calculados existem alguns passos importantes que devem ser seguidos. Com base nisto criou-se um sistema de projeto para um sistema solar que é feito em três planilhas. Nelas são apresentados passo a passo tudo o que deve ser observado em um projeto completo e isto facilita muito na hora de se fazer um redimensionamento de carga e de equipamentos no papel de forma que na hora da implementação do sistema não ocorram maiores problemas.

A primeira planilha é a "Planilha de Estimativa de Consumo" (ver tabela I.1). Nela são descritos os equipamentos e seus dados técnicos como corrente, tensão, horas de utilização e potência do sistema AC.

Tabela I.1 – Planilha de Estimativa de Consumo : Exemplo Calculado

Tensão do Sistema						12		VDC	
Cargas DC	Qtd.		Corrente (A)		Horas/ Dia		Dias/ Semana		Consumo Médio Diário DC (Ah)
Rádio	1	X	5	X	0,5	X	7	÷7	2,5
						Subtotal DC (Ah)			2,5
Cargas AC	Qtd.		Potência (W)		Horas/ Dia		Dias/ Semana		Consumo Médio Diário AC (Wh)
Rádio	6	X	20	X	3	X	7	÷7	360
TV	1	X	80	X	4	X	6	÷7	274,3
TV	1	X	80	X	8	X	1	÷7	91,4
						Subtotal AC (Wh)			725,7
Potência Total AC (W)				100	Eficiência do Inversor			÷	0,9
					Tensão do Sistema			÷	12
						Subtotal AC (Ah)			67,2
Subtotal DC (Ah)			Subtotal AC (Wh)				Consumo Médio Diário (Ah)		
2,5		+	67,2			=	69,7		

ANEXO I

Feito a análise do consumo médio diário em Ah pode-se então passar para a planilha de dimensionamento (tabela I.2) onde determina-se a quantidade de painéis solares e como devem ser ligados (série e paralelo).

Tabela I.2 – Planilha de Dimensionamento I : Exemplo Calculado

1. Consumo : Total Médio Diário				
Consumo Médio Diário da Planilha de Estimativa de Consumo			69,7	Ah [1]
Fator de Segurança / Eficiência da Bateria / Perdas [1] X 1,2			83,6	Ah [2]
2. Radiação Solar : Horas de Pico				
Estado	MS	Localidade	Campo Grande	
Fator de Segurança / Eficiência da Bateria / Perdas			4,9	h [3]
3. Módulo Solar : Seleção				
Modelo de Módulo			SP 75	
Corrente @ Potência Máxima			4,4	A [4]
Capacidade de Carga Por Módulo [3] X [4]			21,6	Ah/dia [5]
3.1 Módulo Solar : Quantidade em Paralelo				
			[2] ÷ [5]	4 [6]
3.2 Módulo Solar : Quantidade em Série				
Tensão do Sistema (12 ou 24V)			12	V [7]
Número de Módulos em Série [7] ÷ 12V			1	[8]
3.1 Módulo Solar : Quantidade Total				
			[6] X [8]	4 [9]

Finalmente já sabendo o consumo médio e o número de painéis solares a serem utilizados pode-se partir para a tabela I.3 onde serão determinados os dados referentes à bateria (capacidade e quantidade em série e paralelo), regulador (seleção, corrente máxima para o sistema e quantidade de reguladores em paralelo) e inversor (seleção e estimativas de potência de surto). Com isto tem-se um sistema solar básico totalmente calculado fazendo com que a partir de então seja possível prever os custos do sistema e facilidades de implantação.

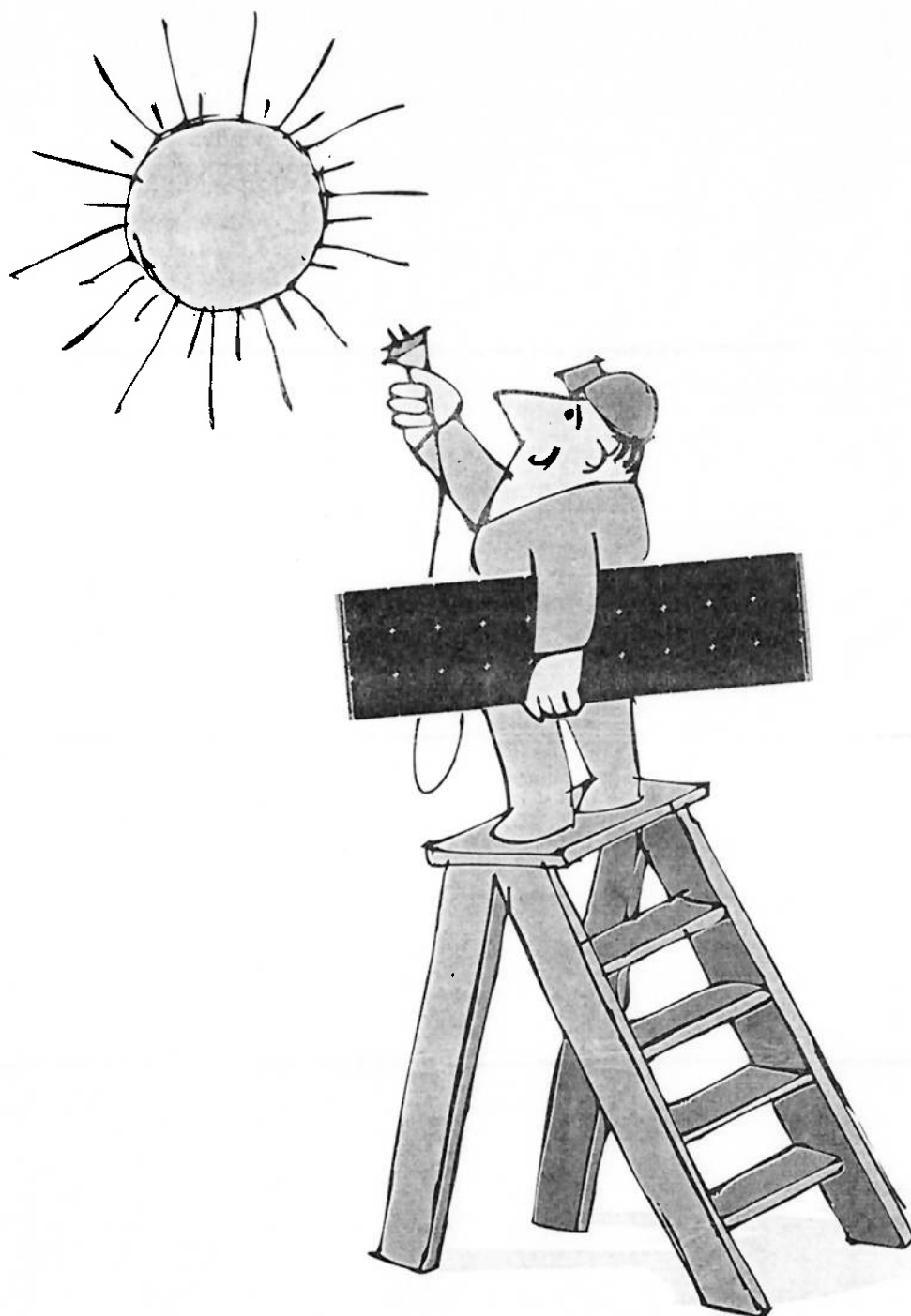
ANEXO I

Tabela I.3 – Planilha de Dimensionamento II : Exemplo Calculado

4. Bateria									
Aplicação	Bateria								
Não Crítica	Automotiva	[2]	X	10					
<u>Não Crítica</u>	<u>Deep Cycle</u>	[2]	X	6,25	522,5	Ah	[10]		
Crítica	Deep Cycle	[2]	X	12,5					
4.1 Bateria : Quantidade em Paralelo									
Bateria Selecionada Para o Sistema					Delco 2000				
Capacidade de Carga					95	Ah	[11]		
					[10] ÷ [11]	6		[12]	
4.2 Bateria : Quantidade em Série									
					[7] ÷ 12V	1		[13]	
4.3 Bateria : Quantidade Total									
					[12] X [13]	6		[14]	
5. Regulador : Corrente Máxima									
ISC do Módulo Solar					4,8	A	[15]		
Corrente Solar Máxima do Sistema					[15] X [6] X 1,3	25,0	A	[16]	
5.1 Regulador : Seleção									
Regulador Selecionado Para o Sistema					Prostar 30				
Corrente Solar Máxima do Regulador					30	A	[17]		
5.2 Regulador : Quantidade em Paralelo (se [16]>30A)									
					[16] ÷ [17]	1		[18]	
6. Inversor : Seleção									
Potência Total AC : Planilha de Estimativa de Consumo					100	W	[19]		
Estimativa de Potência de Surto					200	W	[20]		
Inversor Selecionado Para o Sistema					Prowatt – 125				
Potência Contínua do Regulador					125	W	[21]		
Potência de Surto do Regulador					400	W	[22]		

SIEMENS

Guia de escolha de Energia Solar



Energia Solar: O futuro presente hoje!

O que é Energia Solar Fotovoltaica?

Energia Solar Fotovoltaica é uma fonte de energia renovável obtida pela conversão de energia luminosa solar em energia elétrica. Não confundir com aquecimento solar, que possui princípio de funcionamento completamente diferente.

Como funciona?

Para podermos utilizar a energia que vem do Sol, precisamos basicamente de três elementos: os módulos fotovoltaicos, os controladores de carga e as baterias. Os módulos fotovoltaicos Siemens são construídos a partir de pastilhas de silício monocristalino, material de qualidade superior aos similares e com elevada eficiência. A Siemens é líder mundial em fabricação e tecnologia de produção de módulos fotovoltaicos.

O segundo elemento, o controlador de carga, é um dispositivo de fundamental importância para preservar as baterias, aumentando sua vida útil. A Siemens oferece uma linha completa de controladores de carga de última geração.

As baterias são os elementos que armazenam energia. Com o auxílio delas, os consumidores podem usar à noite ou em períodos de mau tempo a energia irradiada em dias de sol.

Porque Energia Solar?

Porque é uma energia limpa, não poluente, confiável, racional, que não requer manutenção e não consome nenhum combustível. Por essas razões, pode ser utilizada em inúmeras aplicações. No Brasil, onde somos privilegiados pelo Sol, existem milhares de instalações para eletrificação rural, cercas elétricas, bombeamento de água e telecomunicações que usam Energia Solar Fotovoltaica.

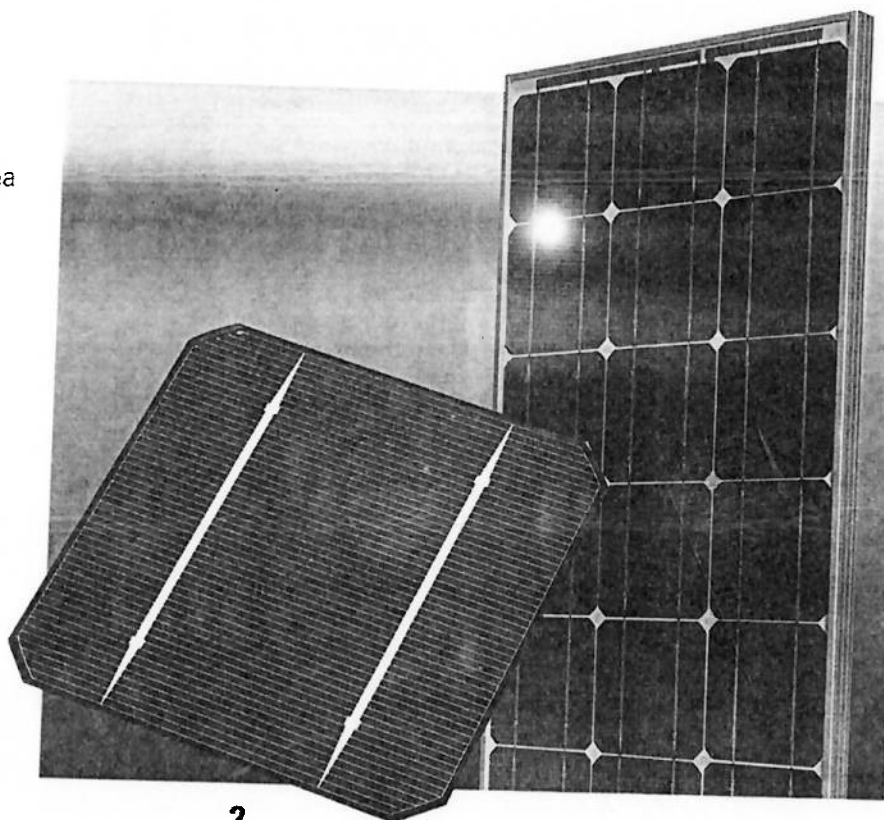
Energia Solar Fotovoltaica é cara?

Ao longo dos últimos 20 anos, o custo da Energia Solar Fotovoltaica caiu de forma espetacular. Hoje em dia, para a grande maioria das aplicações, consegue-se pagar o investimento feito em cerca de dois anos, ou menos.

Porque Energia Solar Fotovoltaica Siemens?

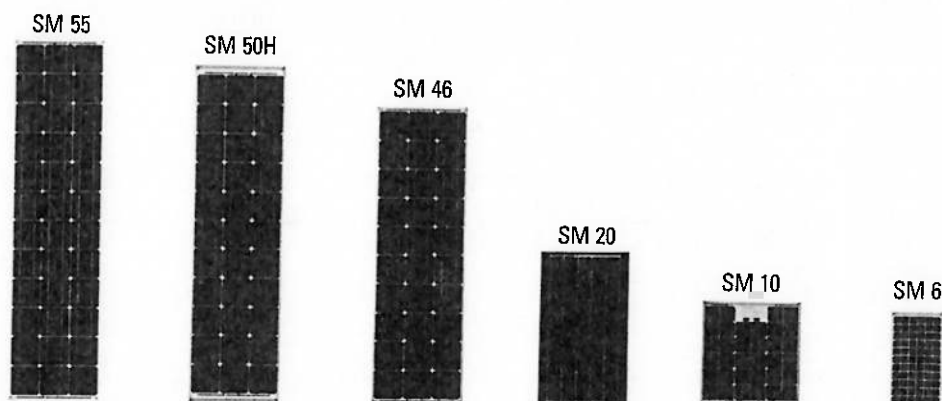
Porque a Siemens é líder mundial na fabricação de módulos solares, já tendo produzido cerca de 120MW em módulos fotovoltaicos. A Siemens é uma empresa que investe constantemente em tecnologia, visando sempre a satisfação do consumidor e a qualidade de seus produtos. No Brasil já vendemos mais de 20 mil módulos fotovoltaicos para as mais diversas aplicações e para as mais remotas localidades.

Neste catálogo, você vai entrar em contato com a linha completa de produtos que a Siemens oferece para energia solar fotovoltaica, desde módulos fotovoltaicos até controladores de carga, e encontrar um roteiro para você mesmo dimensionar o seu sistema.



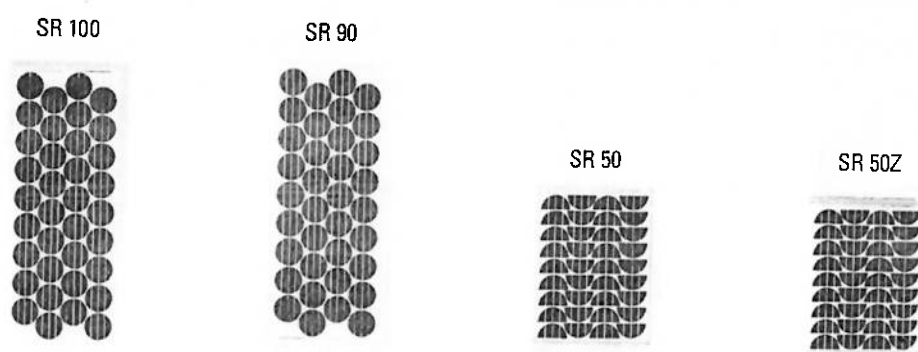
Módulos Solares Siemens

Família SM



Potência (Wp)	55	50	46	20	10	6
Tensão (V)	17,4	15,9	14,6	14,5	16,3	15,0
Corrente (A)	3,15	3,15	3,15	1,38	0,61	0,39
Geração diária (Ah/did)	15,5	15,5	15,5	7,0	3,0	2,0
Comprimento (mm)	1239	1219	1083	567	360	330
Largura (mm)	329	329	329	329	330	175
Espessura (mm)	34	34	34	35	35	35
Principal aplicação	bombeamento	rural	rural	cerca elétrica	cerca	cerca
Controlador de carga	S	S	N	N	N	N

Família SR



Potência (Wp)	100	90	50	50
Tensão (V)	17	17	17	17
Corrente (A)	5,9	5,4	2,95	2,95
Geração diária (Ah/did)	29,5	27,0	15,0	15,0
Comprimento (mm)	1498	1498	783	822
Largura (mm)	594	594	594	597
Espessura (mm)	40	40	34	41
Principal aplicação	rural	rural	rural	rural
Controlador de carga	S	S	S	S

Família SP

SP 75 / SP 70 / SP 65



SP 36



SP 18



Potência (Wp)	75 / 70 / 65	36	18
Tensão (V)	17,0	17,0	17,0
Corrente (A)	4,4 / 4,25 / 3,95	2,1	1,1
Geração diária (Ah/dia)	22,0 / 21,0 / 20,0	10,0	5,5
Comprimento (mm)	1200	633	623
Largura (mm)	527	527	275
Espessura (mm)	34	34	34
Principal aplicação	telecomunicações	rural	cerca
Controlador de carga	S	S	N

Controladores de Carga

1



MICRO/SOLSUM 5.0X

2



MINI/SR 04

3



MIDI/SR 08

4



SR 12

5



SR 20

6



SR 30

	1	2	3	4	5	6
Capacidade (A)	5	4	8	12	20	30
Tensão (V)	12	12 / 24	12 / 24	12 / 24	12 / 24	12 / 24
LVD (*)	N	S	S	S	S	S

(*) LVD (low voltage disconnect - proteção de descarga de bateria)

Como dimensionar

1. Na tabela abaixo, verifique quais equipamentos você utiliza normalmente. A seguir, verifique a quantidade de horas de uso diário de cada equipamento e some os valores de potência correspondentes (sistema equivalente em 12 volts)

2. Procure entre os modelos Siemens (págs. 3 e 4) os múltiplos adequados (ex.: total = 110Wp, podemos escolher dois módulos SP65 ou dois módulos SM55)

3. Escolha o controlador de carga adequado em função da potência (na última página)

4. Calcule a quantidade de baterias necessária (na última página)

Obs.: em caso de uso dos equipamentos somente aos finais de semana, proceda da mesma maneira como descrito ao lado. Ao final, divida a potência de módulos por 2,5 e multiplique as baterias por 2

1. Potências de módulos necessárias (Wp)

Equipamentos	Uso diário (horas/dia)				
	1h	2h	3h	4h	24h
Uma lâmpada 9W	3	6	9	12	•
Duas lâmpadas 9W	5	10	15	20	•
Cinco lâmpadas 9W	9	18	27	35	•
Televisor colorido 14" - 45W	15	30	45	60	•
Televisor p&b 10" - 15W	5	10	15	20	•
Receptor satélite - 20W	7,5	15	22,5	30	•
Vídeocassete - 25W	10	20	30	40	•
Aparelho de som 3x1 - 45W	15	30	45	60	•
Computador pessoal - 90W	25	50	75	100	•
Impressora deskjet - 20W	6	12	18	24	•
Frigobar 80 litros - 75W	•	•	•	•	120
Geladeira 240 litros - 250W	•	•	•	•	300
Aparelho de fax - 10W	•	•	•	•	80
Celular rural	•	•	•	•	80
Monocanal - 9W	•	•	•	•	50

Total: Wp

3. Escolha dos controladores de carga adequados

Controlador de carga - modelo	Potência (Wp)
SR04	0 a 60
SR08	61 a 120
SR12	121 a 180
SR20	181 a 300
SR30	301 a 450
2 x SR20	451 a 600
2 x SR30	601 a 900

4. Quantidade de baterias necessária

Multiplique o total obtido de potência por 2. Exemplo: para 50Wp de potência, uma bateria de 100Ah.

Bombeamento de água

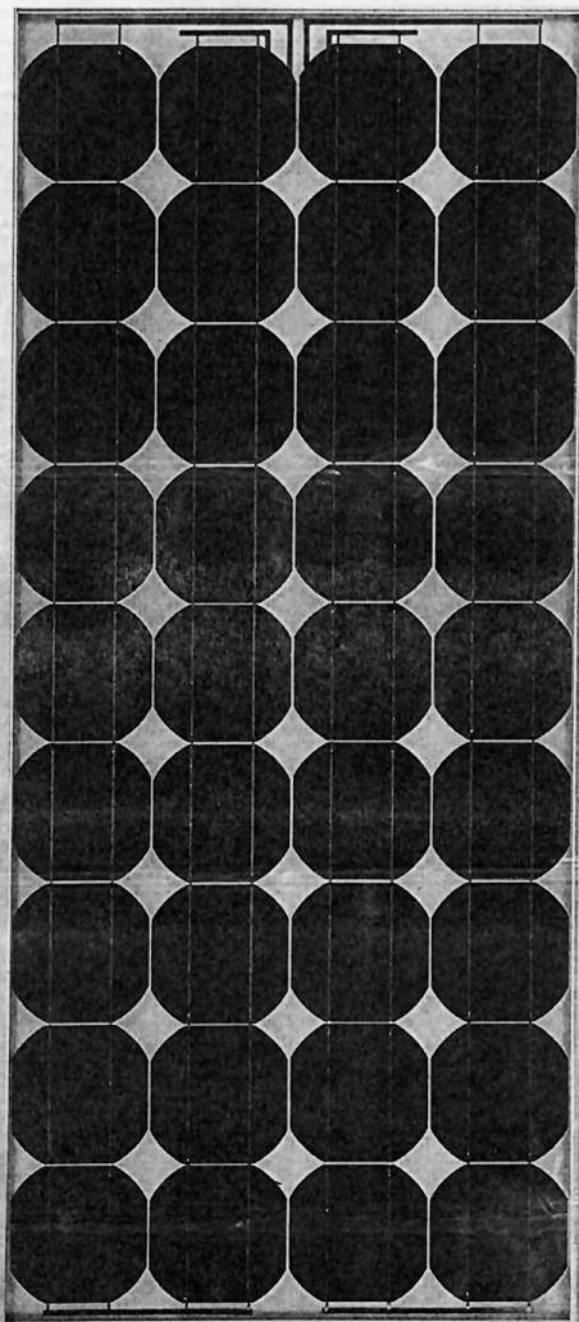
Modelo	Potência (Wp)	Vazão máxima (litros/dia)	Altura máxima (m)
8000	75	1200	30
2088	100	1500	40
9300	155	2250	70

Procedimento: escolha a bomba em função de sua vazão e altura máxima de bombeamento. A potência dos módulos é obtida diretamente. O sistema não usa baterias.

Entre em contato com o distribuidor/revendedor abaixo para esclarecer quaisquer dúvidas. Só ele está plenamente habilitado para ajudá-lo.

SIEMENS

Solar module SP65



When it comes to reliable and environmentally-friendly generation of electricity from sunlight, solar modules from Siemens provide the perfect solution. Manufactured in compliance with the most stringent quality standards, Siemens Solar modules are designed to withstand the toughest environmental conditions and are characterized by their long service life. Siemens Solar modules are covered by a 25-year limited warranty on power output – your guarantee of trouble-free solar power generation.

PowerMax® technology

Siemens' proprietary PowerMax® technology optimizes the energy production of individual cells and solar modules for all types of environmental conditions. PowerMax® process optimization includes a special refining technique for ingots, a clean room semiconductor grade production process, and a multistage proprietary TOPS™ (Texture Optimized Pyramidal Surface) process. The TOPS process incorporates the formation of textured pyramids on the surface of the solar cell. These pyramids are then specially treated to passivate the surface. The cell's optical properties are optimized for maximum absorption of photons from the sun's light. TOPS also maximizes photon absorption from direct and diffuse light (typical under cloudy conditions). This means that light absorption is especially high, even at low light levels. Siemens PowerMax® solar cells deliver maximum energy throughout the day.

Solar module

Model:	SP65
Rated power:	65 Watts
Limited warranty:	25 Years

Certifications and Qualifications

- UL-Listing 1703
- TUV safety class II
- JPL Specification No. 5101-161
- ESTI-IEC 1215/CEC503
- CE mark
- FM Certification

Intelligent module design

- All cells are electrically matched to assure the greatest power output possible.
- Ultra-clear tempered glass provides excellent light transmission and protects from wind, hail, and impact.
- Torsion and corrosion-resistant anodized aluminum module frame ensures dependable performance, even through harsh weather conditions and in marine environments.
- Built-in bypass diodes (12V configuration) help system performance during partial shadowing.

High quality

- Every module is subject to final factory review, inspection, and testing to assure compliance with electrical, mechanical, and visual criteria.
- 36 PowerMax® single-crystalline solar cells deliver excellent performance even in reduced light or poor weather conditions.
- Cell surfaces are treated with the Texture Optimized Pyramidal Surface (TOPS™) process to generate more energy from available light.
- Fault tolerant multi-redundant contacts on the front and back of cells provide superior reliability.
- Solar cells are laminated between a multi-layered polymer backsheet and layers of ethylene vinyl acetate (EVA) for environmental protection, moisture resistance, and electrical isolation.
- Durable back sheet provides the module underside with protection from scratching, cuts, breakage, and most environmental conditions.
- Laboratory tested and certified for a wide range of operating conditions.
- Ground continuity of less than 1 ohm for all metallic surfaces.
- Manufactured in ISO 9001 certified facilities to exacting Siemens quality standards.

Easy installation

- ProCharger™-CR junction box accepts conduit, cable or wire and is designed for easy field wiring.
- Lightweight aluminum frame and pre-drilled mounting holes for easy installation.
- Factory configured for 12V operation and may be reconfigured in the field for 6V operation.
- Modules may be wired together in series or parallel to attain required power levels.

Performance warranty

- 25 Year limited warranty on power output.

Further information on solar products, systems, principles, and applications is available in the Siemens Solar product catalog.

Siemens modules are recyclable.

Siemens Solar GmbH

A joint venture of
Siemens AG and Bayernwerk AG
Postfach 46 07 05
D-80915 München
Germany

Solar module SP65

Electrical parameters		12 V / 6 V
Maximum power rating P_{max}	[W _p] ¹⁾	65
Rated current I_{MPP}	[A]	3.95 / 7.9
Rated voltage V_{MPP}	[V]	16.5 / 8.25
Short circuit current I_{SC}	[A]	4.5 / 9.0
Open circuit voltage V_{OC}	[V]	21.4 / 10.7
Thermal parameters		
NOCT ²⁾	[°C]	45±2
Temp. coefficient: short-circuit current		2.06 mA/°C
Temp. coefficient: open-circuit voltage		-0.77 V/°C
Qualification test parameters ⁴⁾		
Temperature cycling range	[°C]	-40 to +85
Humidity freeze, Damp heat	[% RH]	85
Maximum system voltage	[V]	600 (1000 V Per ISPR)
Wind loading	PSF [N/m ²]	50 [2400]
Maximum distortion ³⁾	[°]	1.2
Hailstone impact	Inches [mm]	1.0 [25]
	MPH [m/s]	52 [v=23]
Weight	Pounds [kg]	16.7 [7.6]

¹⁾ W_p (Watt peak) = Peak power
(Minimum W_p = 60 Watts)

Air Mass^{*} AM = 1.5
Irradiance E = 1000 W/m²
Cell temperature T_c = 25 °C

²⁾ Normal Operating Cell Temperature at:

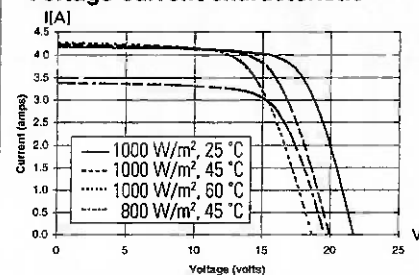
Irradiance E = 800 W/m²
Ambient temperature T_U = 20 °C
Wind speed v_w = 1 m/s

³⁾ Diagonal lifting of the module plane

⁴⁾ Per EIC 1215 test requirements

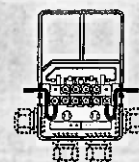
⁵⁾ 12 Volt configuration

Voltage-current characteristic⁵⁾



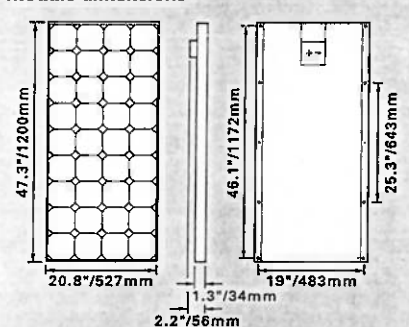
ProCharger™-CR Junction-box

Maximum cable diameter: 4 mm²
System of protection: IP44



Your address for photovoltaics from Siemens Solar

Module dimensions



Hole diameter 0.26 inch
Mounting hole dimensions are center to center



Status 3/98 – Subject to modification.

Siemens Solar Industries

P.O. Box 6032
Camarillo, CA 93011, U.S.A.
Tel: 805-482-6800
Fax: 805-388-6395
Web site: www.siemenssolar.com
E-mail: sunpower@solarpv.com

Printed in U.S.A.

Siemens Showa Solar Pte. Ltd.

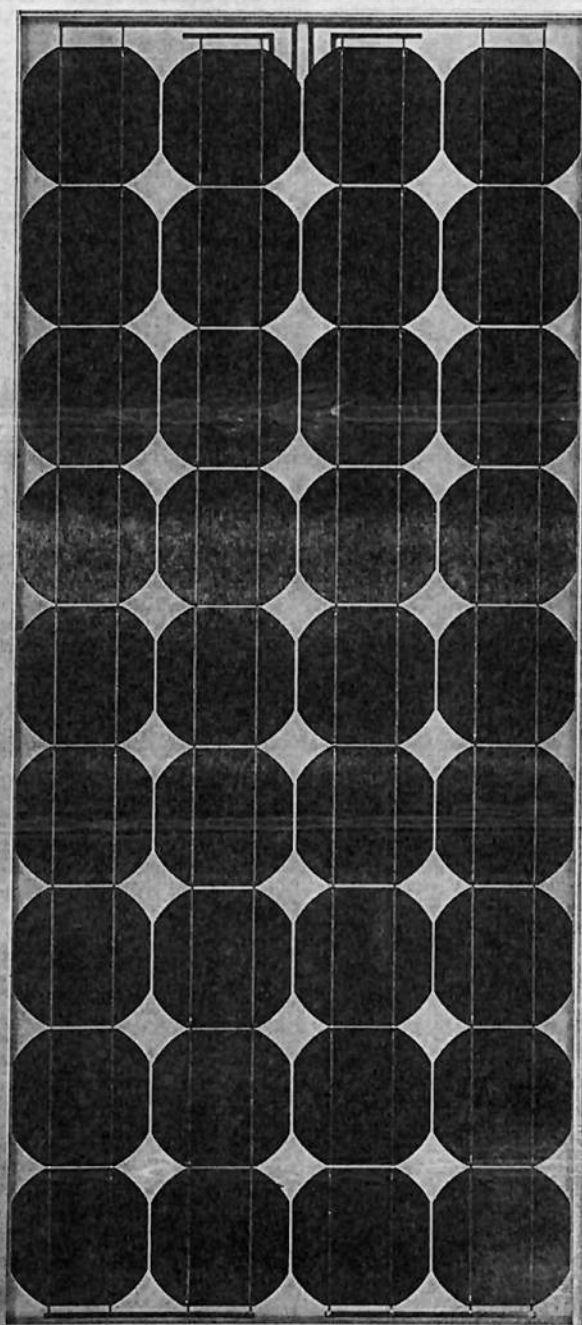
Blk. 164 Kallang Way
#05-14/15 Kolam Ayer Industrial Park
Singapore 349248
Tel: 65-842-3886
Fax: 65-842-3887



Order No. 020516, Rev. A

SIEMENS

Solar module SP70



When it comes to reliable and environmentally-friendly generation of electricity from sunlight, solar modules from Siemens provide the perfect solution. Manufactured in compliance with the most stringent quality standards, Siemens Solar modules are designed to withstand the toughest environmental conditions and are characterized by their long service life. Siemens Solar modules are covered by a 25-year limited warranty on power output – your guarantee of trouble-free solar power generation.

PowerMax® technology

Siemens' proprietary PowerMax® technology optimizes the energy production of individual cells and solar modules for all types of environmental conditions. PowerMax® process optimization includes a special refining technique for ingots, a clean room semiconductor grade production process, and a multistage proprietary TOPS™ (Texture Optimized Pyramidal Surface) process. The TOPS process incorporates the formation of textured pyramids on the surface of the solar cell. These pyramids are then specially treated to passivate the surface. The cell's optical properties are optimized for maximum absorption of photons from the sun's light. TOPS also maximizes photon absorption from direct and diffused light (typical under cloudy conditions). This means that light absorption is especially high, even at low light levels. Siemens PowerMax® solar cells deliver maximum energy throughout the day.

Solar module

Model:	SP70
Rated power:	70 Watts
Limited warranty:	25 Years

Certifications and Qualifications

- UL-Listing 1703
- TÜV safety class II
- JPL Specification No. 5101-161
- ESTI-IEC 1215/CEC503
- CE mark
- FM Certification

Intelligent module design

- All cells are electrically matched to assure the greatest power output possible.
- Ultra-clear tempered glass provides excellent light transmission and protects from wind, hail, and impact.
- Torsion and corrosion-resistant anodized aluminum module frame ensures dependable performance, even through harsh weather conditions and in marine environments.
- Built-in bypass diodes (12V configuration) help system performance during partial shadowing.

High quality

- Every module is subject to final factory review, inspection, and testing to assure compliance with electrical, mechanical, and visual criteria.
- 36 PowerMax® single-crystalline solar cells deliver excellent performance even in reduced light or poor weather conditions.
- Cell surfaces are treated with the Texture Optimized Pyramidal Surface (TOPS™) process to generate more energy from available light.
- Fault tolerant multi-redundant contacts on the front and back of cells provide superior reliability.
- Solar cells are laminated between a multi-layered polymer backsheet and layers of ethylene vinyl acetate (EVA) for environmental protection, moisture resistance, and electrical isolation.
- Durable back sheet provides the module underside with protection from scratching, cuts, breakage, and most environmental conditions.
- Laboratory tested and certified for a wide range of operating conditions.
- Ground continuity of less than 1 ohm for all metallic surfaces.
- Manufactured in ISO 9001 certified facilities to exacting Siemens quality standards.

Easy installation

- ProCharger™-CR junction box accepts conduit, cable or wire and is designed for easy field wiring.
- Lightweight aluminum frame and pre-drilled mounting holes for easy installation.
- Factory configured for 12V operation and may be reconfigured in the field for 6V operation.
- Modules may be wired together in series or parallel to attain required power levels.

Performance warranty

- 25 Year limited warranty on power output.

Further information on solar products, systems, principles, and applications is available in the Siemens Solar product catalog.

Siemens modules are recyclable.

Siemens Solar GmbH

A joint venture of
Siemens AG and Bayernwerk AG
Postfach 46 07 05
D-80915 München
Germany

Solar module SP70

Electrical parameters		12 V / 6 V
Maximum power rating P_{max}	[W _p] ¹⁾	70
Rated current I_{MPP}	[A]	4.25 / 8.5
Rated voltage V_{MPP}	[V]	16.5 / 8.25
Short circuit current I_{SC}	[A]	4.7 / 9.4
Open circuit voltage V_{OC}	[V]	21.4 / 10.7
Thermal parameters		
NOCT ²⁾	[°C]	45±2
Temp. coefficient: short-circuit current		2.06 mA / °C
Temp. coefficient: open-circuit voltage		-.077 V / °C
Qualification test parameters ⁴⁾		
Temperature cycling range	[°C]	-40 to +85
Humidity freeze, Damp heat	[% RH]	85
Maximum system voltage	[V]	600 (1000 V per ISPR)
Wind Loading PSF	[N/m ²]	50 [2400]
Maximum distortion ³⁾	[°]	1.2
Hailstone impact	Inches [mm]	1.0 [25]
	MPH [m/s]	52 [v=23]
Weight	Pounds [kg]	16.7 [7.6]

- ¹⁾ W_p (Watt peak) = Peak power
(Minimum W_p = 65 Watts)

Air Mass AM = 1.5
Irradiance E = 1000 W/m²
Cell temperature T_c = 25 °C

- ²⁾ Normal Operating Cell Temperature at:

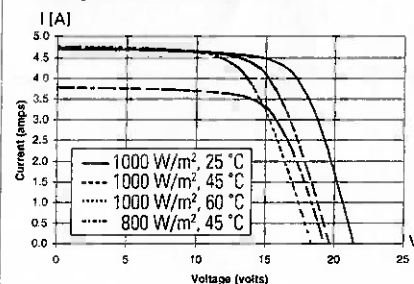
Irradiance E = 800 W/m²
Ambient temperature T_u = 20 °C
Wind speed v_w = 1 m/s

- ³⁾ Diagonal lifting of the module plane

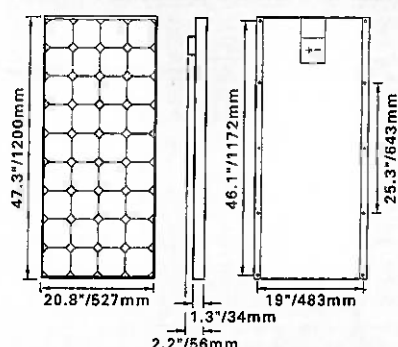
- ⁴⁾ Per EIC 1215 test requirements

- ⁵⁾ 12 Volt configuration

Voltage-current characteristic ⁵⁾



Module dimensions

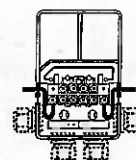


Hole diameter 0.26 inch (6.6 mm)
Mounting hole dimensions are center to center



ProCharger™-CR Junction-box

Maximum cable diameter: 4 mm²
System of protection: IP44



Your address for photovoltaics from Siemens Solar

Status 3/98 – Subject to modification.

Siemens Solar Industries

P.O. Box 6032
Camarillo, CA 93011, U.S.A.
Tel: 805-482-6800
Fax: 805-388-6395
Web site: www.siemenssolar.com
E-mail: sunpower@solarpv.com

Printed in U.S.A.

Siemens Showa Solar Pte. Ltd.

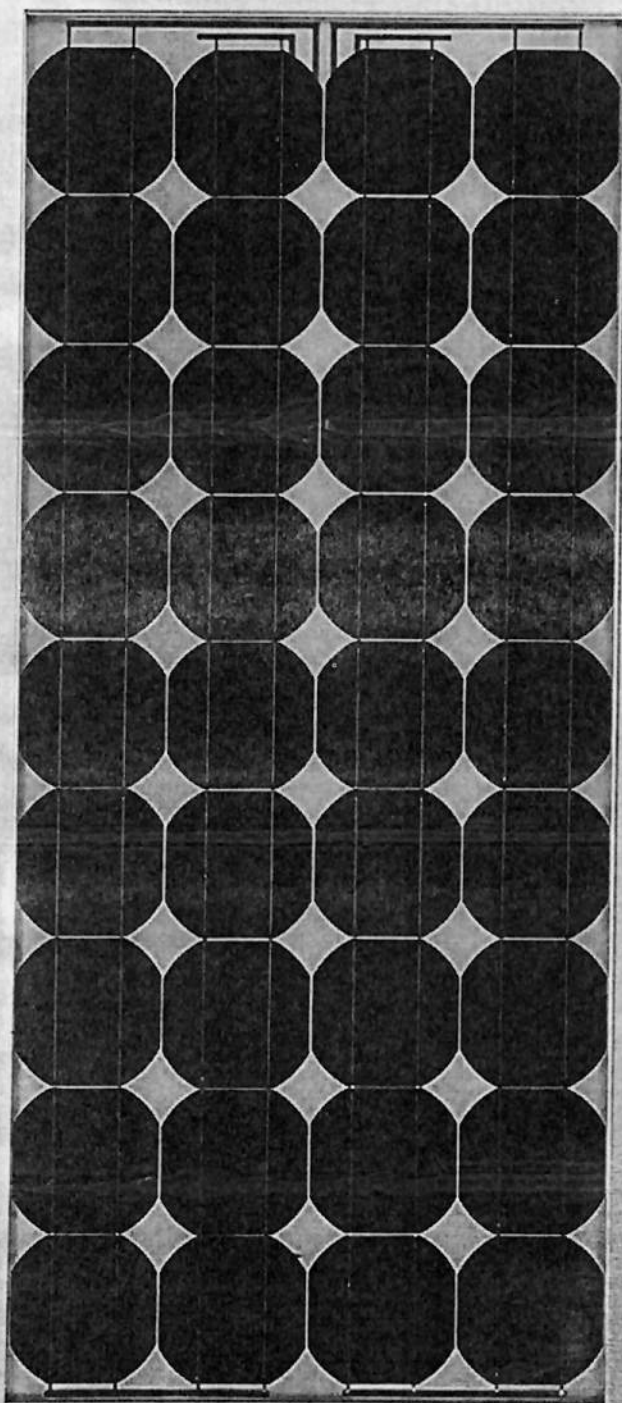
Bld. 164 Kallang Way
#05-14/15 Kolam Ayer Industrial Park
Singapore 349248
Tel: 65-842-3886
Fax: 65-842-3887



Order No. 019898, Rev. B

SIEMENS

Solar module SP75



When it comes to reliable and environmentally-friendly generation of electricity from sunlight, solar modules from Siemens provide the perfect solution. Manufactured in compliance with the most stringent quality standards, Siemens Solar modules are designed to withstand the toughest environmental conditions and are characterized by their long service life. Siemens Solar modules are covered by a 25-year limited warranty on power output – your guarantee of trouble-free solar power generation.

PowerMax® technology

Siemens' proprietary PowerMax® technology optimizes the energy production of individual cells and solar modules for all types of environmental conditions. PowerMax® process optimization includes a special refining technique for ingots, a clean room semiconductor grade production process, and a multistage proprietary TOPS™ (Texture Optimized Pyramidal Surface) process. The TOPS process incorporates the formation of textured pyramids on the surface of the solar cell. These pyramids are then specially treated to passivate the surface. The cell's optical properties are optimized for maximum absorption of photons from the sun's light. TOPS also maximizes photon absorption from direct and diffused light (typical under cloudy conditions). This means that light absorption is especially high, even at low light levels. Siemens PowerMax® solar cells deliver maximum energy throughout the day.

Solar module

Model:	SP75
Rated power:	75 Watts
Limited Warranty:	25 Years

Certifications and Qualifications

- UL-Listing 1703
- TÜV safety class II
- JPL Specification No. 5101-161
- IEC 61215
- CE mark
- FM Certification

Intelligent module design

- All cells are electrically matched to assure the greatest power output possible.
- Ultra-clear tempered glass provides excellent light transmission and protects from wind, hail, and impact.
- Torsion and corrosion resistant anodized aluminum module frame ensures dependable performance, even through harsh weather conditions and in marine environments.
- Built-in bypass diodes (12V configuration) help system performance during partial shadowing.

High quality

- Every module is subject to final factory review, inspection and testing to assure compliance with electrical, mechanical and visual criteria.
- 36 PowerMax® single-crystalline solar cells deliver excellent performance even in reduced-light or poor weather conditions.
- Cell surfaces are treated with the Texture Optimized Pyramidal Surface (TOPS™) process to generate more energy from available light.
- Fault tolerant multi-redundant contacts on front and back of each cell provide superior reliability.
- Solar cells are laminated between a multi-layered polymer backsheet and layers of ethylene vinyl acetate (EVA) for environmental protection, moisture resistance, and electrical isolation.
- Durable back sheet provides the module underside with protection from scratching, cuts, breakage, and most environmental conditions.
- Laboratory tested and certified for a wide range of operating conditions.
- Ground continuity of ≤ 1 ohm for all metallic surfaces.
- Manufactured to exacting Siemens quality standards.

Easy installation

- ProCharger™-CR junction box accepts conduit, cable or wire and is designed for easy field wiring.
- Lightweight aluminum frame and pre-drilled mounting holes for easy installation.
- Factory configured for 12V operation and may be reconfigured in the field for 6V operation.
- Modules may be wired together in series or parallel to attain required power levels.

Performance warranty

- 25 Year limited warranty on power output.

Further information on solar products, systems, principles and applications is available in the Siemens Solar product catalog.

Solar module SP75

Electrical parameters		12 V/6 V
Maximum power rating P_{max}	[Wp] ¹⁾	75
Rated current I_{MPP}	[A]	4.4/8.8
Rated voltage V_{MPP}	[V]	17.0/8.5
Short circuit current I_{SC}	[A]	4.8/9.6
Open circuit voltage V_{OC}	[V]	21.7/10.9
Thermal parameters		
NOCT ²⁾	[°C]	45 $\pm$ 2
Temp. coefficient: short-circuit current		2.06 mA / °C
Temp. coefficient: open-circuit voltage		-.077 V / °C
Qualification test parameters ⁴⁾		
Temperature cycling range	[°C]	-40 to +85
Humidity freeze, Damp heat	[%RH]	85
Maximum system voltage	[V]	600 V per UL (1000 V per ISPR)
Wind Loading	PSF [N/m ²]	50 [2400]
Maximum distortion ³⁾	[°]	1.2
Hailstone impact	Inches [mm]	1.0 [25]
	MPH [m/s]	52 [v=23]
Weight	Pounds [kg]	16.7 [7.6]

- 1) Wp (Watt peak) = Peak power (Minimum Wp = 70 Watts)

Air Mass AM = 1.5
Irradiance E = 1000 W/m²
Cell temperature $T_c = 25$ °C

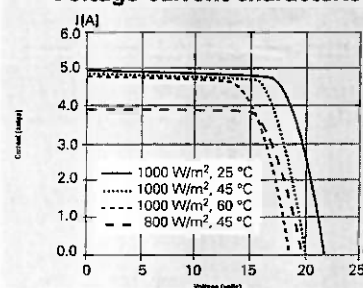
- 2) Normal Operating Cell Temperature at:
Irradiance E = 800 W/m²
Ambient temperature $T_u = 20$ °C
Wind Speed $v_w = 1$ m/s

- 3) Diagonal lifting of module plane

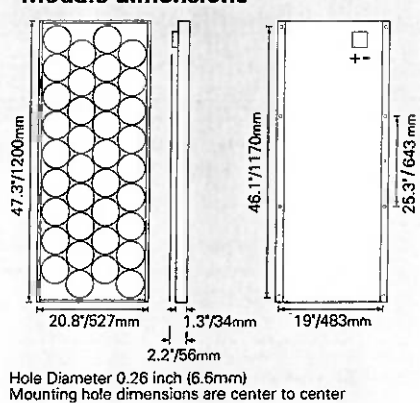
- 4) Per IEC 61215 test requirements

- 5) 12 volt configuration

Voltage-current characteristic



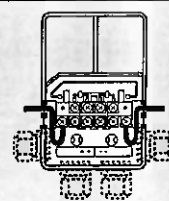
Module dimensions



ProCharger™-CR Junction-box

Maximum cable diameter: 4mm²

Type of protection: IP44



Your address for photovoltaics from Siemens Solar

Siemens modules are recyclable.

Siemens Solar GmbH
A joint venture of
Siemens AG and Bayernwerk AG
Postfach 46 07 05
D-80915 München
Germany

Siemens Solar Industries
P.O.Box 6032
Camarillo, CA 93011, U.S.A.
Web site: www.siemenssolarpv.com
E-mail: sunpower@solarpv.com
Tel: 805-482-6800
Fax: 805-388-6395

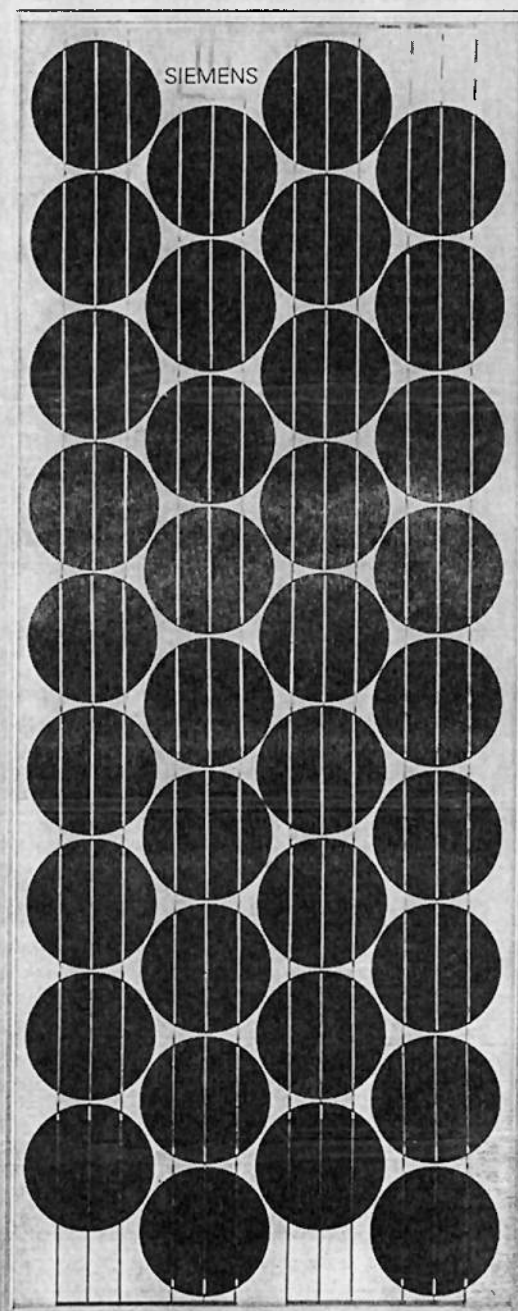
Siemens Showa Solar Pte. Ltd.
166 Kallang Way
Singapore 349249
Tel: 65-842-3886
Fax 65-842-3887

Order No. 019897, Rev. D



SIEMENS

Solar module SR90



The Siemens SR90 solar (photovoltaic) module efficiently generates power by converting the energy contained in sunlight directly into electricity. It has no moving parts, operates silently, uses no fuel, and produces no waste. Built for long-term dependability, the SR90 has a twenty-five year limited warranty on power output.

PowerMax® technology

Siemens PowerMax® solar cells give the SR90 its outstanding energy performance characteristics. A proprietary process increases the ability of the single-crystal silicon cells to absorb light-energy and generate electricity efficiently. This enables the SR90 to produce power even in low light and deliver excellent performance under any operating condition.

Engineered for strength, durability and dependable operation in any climatic region, the SR90 is able to endure even severe environmental conditions and continue to generate power reliably and efficiently.

Siemens manufactures solar modules to exacting standards of quality in our ISO 9001 certified facilities. We control every phase of production to assure optimal product performance.

Outstanding power performance and reliability, along with easy wiring, installation and system expansion, make Siemens SR90 modules an excellent choice for many industrial, commercial and consumer solar electric power systems.

Solar module

Model:	SR90
Rated power:	90 Watts
Limited Warranty:	25 Years

Certifications and Qualifications

- UL-Listing 1703
- IEC 61215
- FM Certification
- JPL Specification 5101-161
- MIL Standard 810

Intelligent module design

- All cells are electrically matched to assure greatest power output.
- Ultra-clear tempered glass provides excellent light transmission and protects from wind, hail, and impact.
- Torsion and corrosion resistant anodized aluminum module frame assures dependable performance, even through harsh weather conditions and in marine environments.
- Built-in bypass diodes (12V configuration) help system performance during partial shading.

High quality

- Every module is subject to final factory review, inspection and test to assure compliance with electrical, mechanical and visual criteria.
- PowerMax® single-crystalline solar cells deliver excellent performance even in reduced-light or poor weather conditions.
- Cell surfaces have Texture Optimized Pyramidal Surface (TOPS™) to process more energy from available light.
- Fault tolerant multi-redundant contacts on front and back of each cell provide superior reliability.
- Solar cells laminated between a multi-layered polymer backsheet and layers of ethylene vinyl acetate (EVA) for environmental protection, moisture resistance, and electrical isolation.
- Durable multiple-layered backing system provides the module underside with protection from scratching, cuts, breakage, and most environmental conditions.
- Laboratory tested and certified for a wide range of operating conditions.
- Ground continuity of less than 1 ohm for all metallic surfaces.
- Manufactured in ISO 9001 certified facilities to exacting Siemens quality standards.

Easy installation

- ProCharger™-CR junction box accepts conduit, cable or wire and is designed for easy field wiring.
- Lightweight aluminum frame and pre-drilled mounting holes for easy installation.
- Modules are factory configured for 12 volt operation and may be reconfigured in the field for 6 Volt operation.
- Modules may be wired together in series and parallel to attain required power levels.

Performance warranty

- 25 Year limited warranty on power output.

Further information on solar products, systems, principles and applications is available in the Siemens Solar product catalog.

Siemens modules are recyclable.

Siemens Solar GmbH

A joint venture of
Siemens AG and Bayernwerk AG

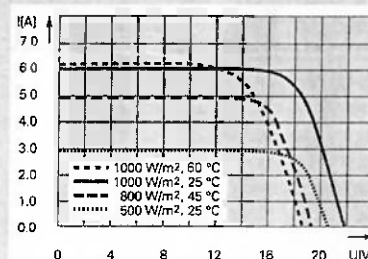
Postfach 46 07 05
D-80915 München
Germany

Solar module SR90

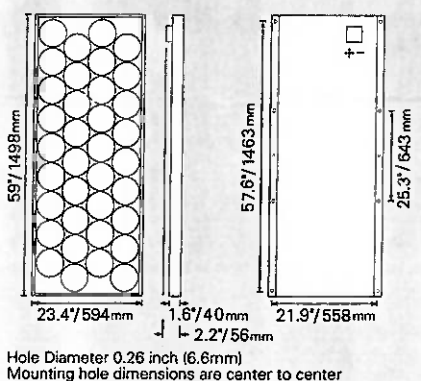
Electrical parameters		12V / 6V
Maximum power rating P_{max}	[Wp] ¹⁾	90
Rated current I_{MPP}	[A]	5.4/10.8
Rated voltage V_{MPP}	[V]	17.0/8.5
Short circuit current I_{SC}	[A]	6.1/12.2
Open circuit voltage V_{OC}	[V]	21.6/10.8
Thermal parameters		
NOCT ²⁾	[°C]	45 ±2
Temp. coefficient: short-circuit current		2.1mA / °C
Temp. coefficient: open-circuit voltage		-0.079V / °C
Qualification test parameters ⁴⁾		
Temperature cycling range	[°C]	-40 to +85
Humidity freeze, Damp heat	[%RH]	85
Maximum system voltage	[V]	600 (per U.L.) 1000 (per ISPR)
Wind Loading PSF	[N/m ²]	50 [2400]
Maximum distortion ³⁾	[°]	1.2
Hailstone impact	Inches [mm]	1.0 [25]
	MPH [m/s]	52 [v=23]
Weight	Pounds [kg]	24.0 [10.9]

- Wp (Watt peak) = Peak power
(Minimum Wp = 80 Watts)
under standard test conditions:
Air Mass AM = 1.5
Irradiance E = 1000 W/m²
Cell temperature T_c = 25 °C
- Normal Operating Cell Temperature at:
Irradiance E = 800 W/m²
Ambient temperature T_a = 25 °C
Wind Speed V_w = 1 m/s
- Diagonal lifting of module plane
- Per IEC 61215 test requirements
- 12 Volt configuration

Voltage-current characteristic ⁵⁾

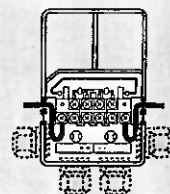


Module dimensions



ProCharger™-CR Junction-box

Maximum cable
diameter: 4mm²
Type of protection: IP44



Your address for photovoltaics from Siemens Solar



© Siemens Solar 1998 Status 11/98 - Subject to modification.

Siemens Solar Industries
P.O.Box 6032
Camarillo, CA 93011, U.S.A.
Web site: www.siemenssolarpv.com
E-mail: sunpower@solarpv.com
Tel: 805-482-6800
Fax: 805-388-6395

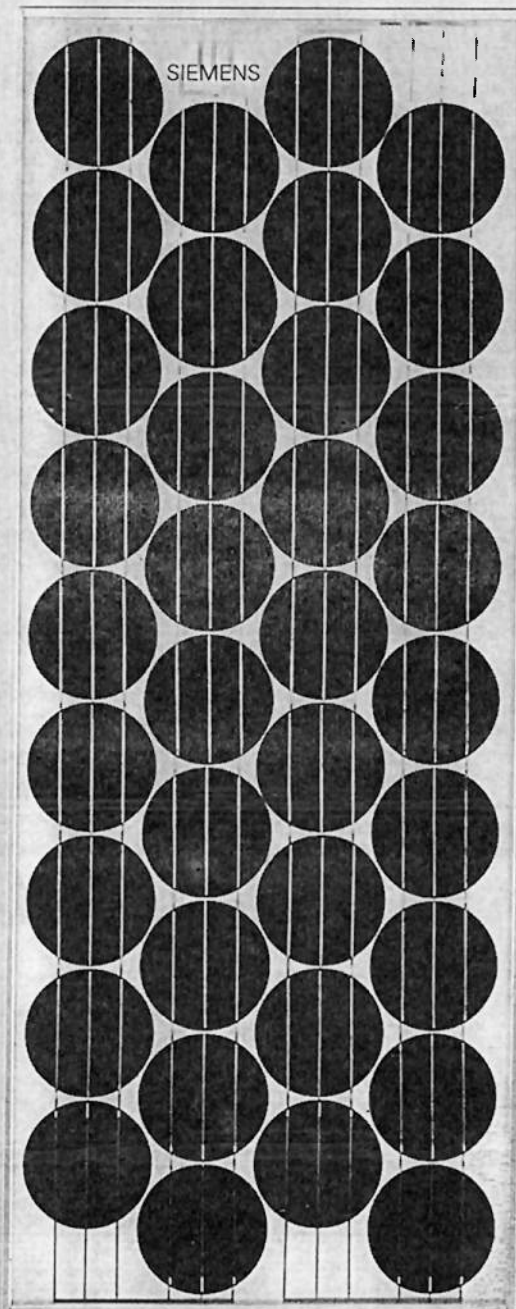
Siemens Showa Solar Pte. Ltd.
166 Kallang Way
Singapore 349248
Tel: 65-842-3886
Fax 65-842-3887

Order No. 020150, Rev. E



SIEMENS

Solar module SR100



The Siemens SR100 solar (photovoltaic) module efficiently generates power by converting the energy contained in sunlight directly into electricity. It has no moving parts, operates silently, uses no fuel, and produces no waste. Built for long-term dependability, the SR100 has a twenty-five year limited warranty on power output.

PowerMax® technology

Siemens PowerMax® solar cells give the SR100 its outstanding energy performance characteristics. A proprietary process increases the ability of the single-crystal silicon cells to absorb light-energy and generate electricity efficiently. This enables the SR100 to produce power even in low light and deliver excellent performance under any operating condition.

Engineered for strength, durability and dependable operation in any climatic region, the SR100 is able to endure even severe environmental conditions and continue to generate power reliably and efficiently.

Siemens manufactures solar modules to exacting standards of quality in our ISO 9001 certified facilities. We control every phase of production to assure optimal product performance.

Outstanding power performance and reliability, along with easy wiring, installation and system expansion, make Siemens SR100 modules an excellent choice for many industrial, commercial and consumer solar electric power systems.

Solar module

Model:	SR100
Rated power:	100 Watts
Limited Warranty:	25 Years

Certifications and Qualifications

- UL-Listing 1703
- IEC 61215
- JPL Specification 5101-161
- MIL Standard 810

Intelligent module design

- All cells are electrically matched to assure greatest power output.
- Ultra-clear tempered glass provides excellent light transmission and protects from wind, hail, and impact.
- Torsion and corrosion resistant anodized aluminum module frame assures dependable performance, even through harsh weather conditions and in marine environments.
- Built-in bypass diodes (12V configuration) help system performance during partial shading.

High quality

- Every module is subject to final factory review, inspection and test to assure compliance with electrical, mechanical and visual criteria.
- PowerMax® single-crystalline solar cells deliver excellent performance even in reduced-light or poor weather conditions.
- Cell surfaces have Texture Optimized Pyramidal Surface (TOPS™) to process more energy from available light.
- Fault tolerant multi-redundant contacts on front and back of each cell provide superior reliability.
- Solar cells laminated between a multi-layered polymer backsheet and layers of ethylene vinyl acetate (EVA) for environmental protection, moisture resistance, and electrical isolation.
- Durable multiple-layered backing system provides the module underside with protection from scratching, cuts, breakage, and most environmental conditions.
- Laboratory tested and certified for a wide range of operating conditions.
- Ground continuity of less than 1 ohm for all metallic surfaces.
- Manufactured in ISO 9001 certified facilities to exacting Siemens quality standards.

Easy installation

- ProCharger™-CR junction box accepts conduit, cable or wire and is designed for easy field wiring.
- Lightweight aluminum frame and pre-drilled mounting holes for easy installation.
- Modules are factory configured for 12 volt operation and may be reconfigured in the field for 6 Volt operation.
- Modules may be wired together in series and parallel to attain required power levels.

Performance warranty

- 25 Year limited warranty on power output.

Further information on solar products, systems, principles and applications is available in the Siemens Solar product catalog.

Siemens modules are recyclable.

Siemens Solar GmbH

A joint venture of
Siemens AG and Bayernwerk AG

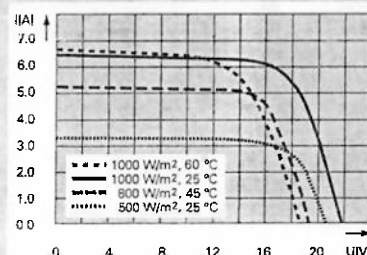
Postfach 46 07 05
D-80915 München
Germany

Solar module SR100

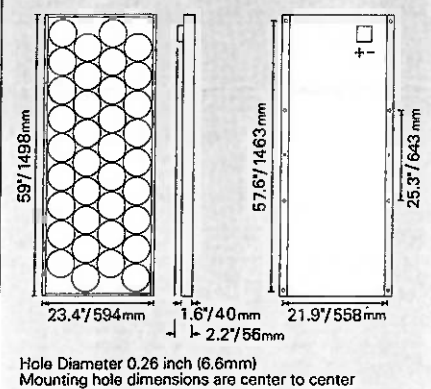
Electrical parameters		12V / 6V
Maximum power rating P_{max}	[Wp] ¹⁾	100
Rated current I_{MPP}	[A]	5.6/11.2
Rated voltage V_{MPP}	[V]	17.7/8.85
Short circuit current I_{SC}	[A]	6.3/12.6
Open circuit voltage V_{OC}	[V]	22/11
Thermal parameters		
NOCT ²⁾	[°C]	45 ±2
Temp. coefficient: short-circuit current		2.1mA / °C
Temp. coefficient: open-circuit voltage		-0.079V / °C
Qualification test parameters ⁴⁾		
Temperature cycling range	[°C]	-40 to +85
Humidity freeze, Damp heat	[%RH]	85
Maximum system voltage	[V]	1000 (per ISPR/CEC) 600 (per U.L.)
Wind Loading PSF	[N/m ²]	50 [2400]
Maximum distortion ³⁾	[°]	1.2
Hailstone impact	Inches [mm]	1.0 [25]
	MPH [m/s]	52 [v=23]
Weight	Pounds [kg]	24.0 [10.9]

- 1) Wp (Watt peak) = Peak power (Minimum Wp = 90 Watts) under standard test conditions:
Air Mass AM = 1.5
Irradiance E = 1000 W/m²
Cell temperature T_c = 25 °C
- 2) Normal Operating Cell Temperature at:
Irradiance E = 800 W/m²
Ambient temperature T_a = 25 °C
Wind Speed v_w = 1 m/s
- 3) Diagonal lifting of module plane
- 4) Per IEC 61215 test requirements
- 5) 12 Volt configuration

Voltage-current characteristic ⁵⁾



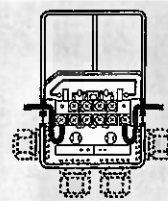
Module dimensions



ProCharger™-CR Junction-box

Maximum cable diameter: 4mm²

Type of protection: IP44



Your address for photovoltaics from Siemens Solar



© Siemens Solar 1998 Status 11/98 - Subject to modification.

Siemens Solar Industries

P.O.Box 6032
Camarillo, CA 93011, U.S.A.
Web site: www.siemenssolarpv.com
E-mail: sunpower@solarpv.com
Tel: 805-482-6800
Fax: 805-388-6395

Siemens Showa Solar Pte. Ltd.

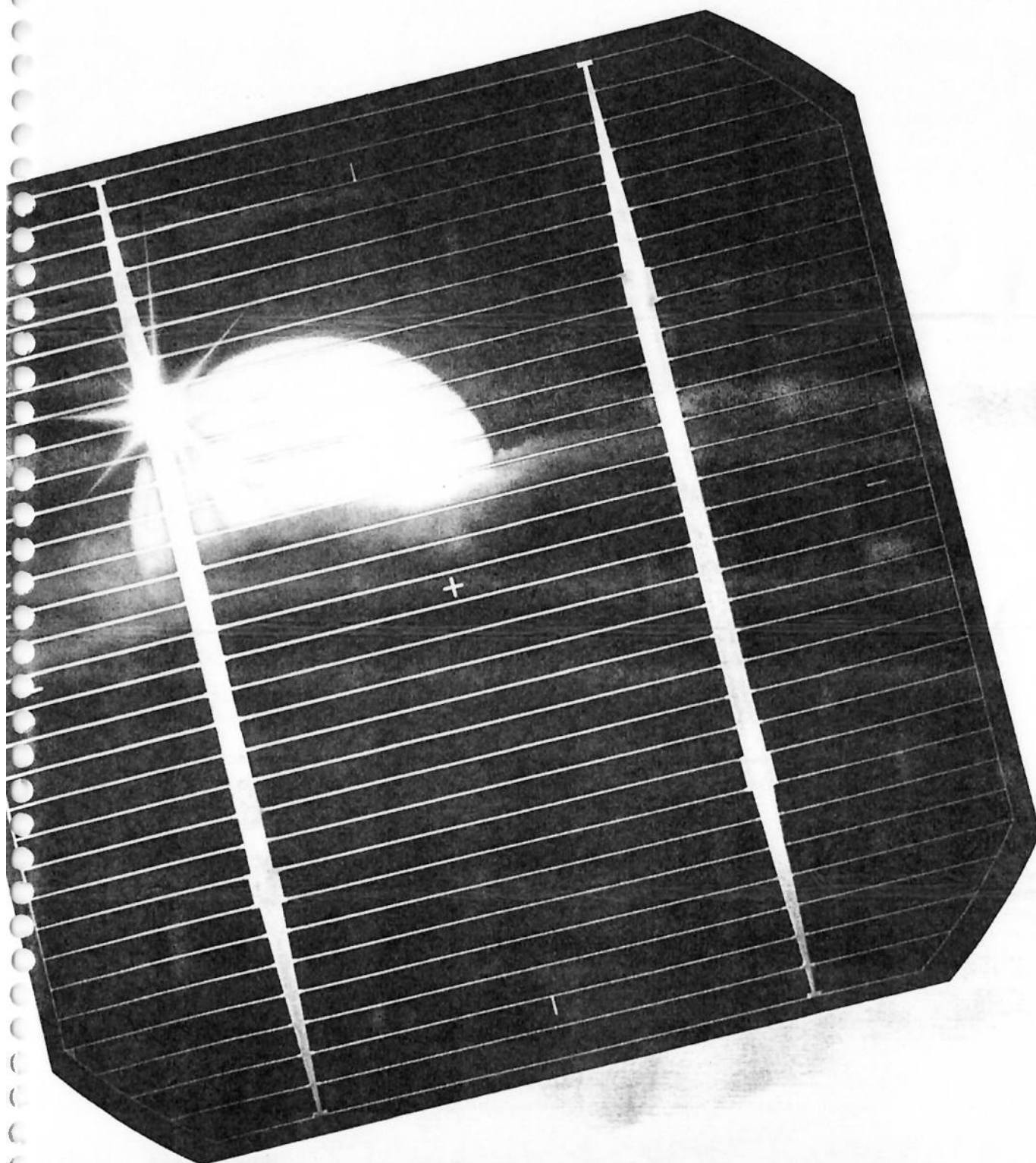
166 Kallang Way
Singapore 349248
Tel: 65-842-3886
Fax 65-842-3887

Order No. 020149, Rev. D



SIEMENS

Siemens Solar Product Catalog



3 Solar Modules from Siemens: A Clean Solution

140 MW of peak output installed: success through quality and competence in an environmentally friendly technology

4 PowerMax® – Leading-Edge Technology from Siemens: Competence Based on Experience

Interesting facts about the Siemens manufacturing processes of solar cells and modules

6 Solar modules from Siemens in practice: Top technology which pays off

Independent studies show that solar modules from Siemens are the best in practical use.

7 Solar Modules: The complete product line

High performance solar modules for industrial, commercial and private applications

10 Solar Modules: Models and Certificates

Overview of available models and certificates

12 Solar Systems

Fundamentals of solar systems and components

14 System Sizing

To determine the size of your solar power system (with worksheet)

As far back as 1877, Werner von Siemens recognized the importance of photovoltaic technology:

"... this is a completely new physical phenomenon which is of enormous scientific significance, ... since we have witnessed here for the first time the direct conversion of the energy of light into electrical energy."

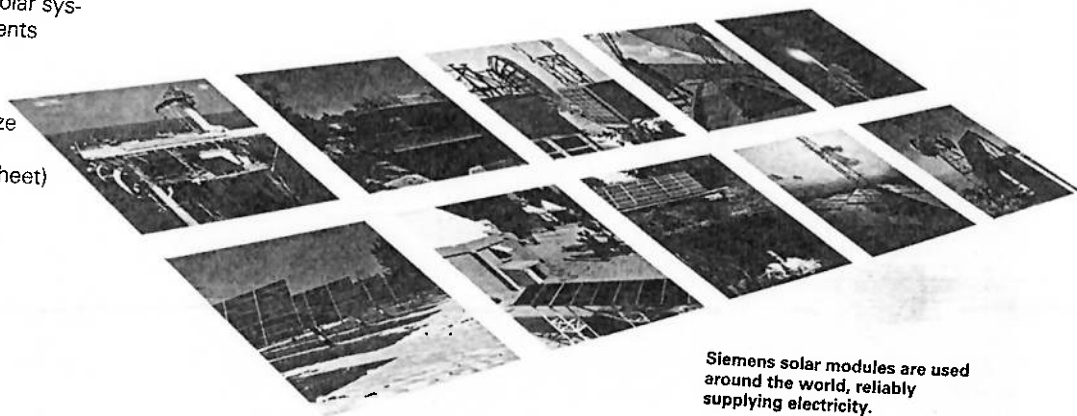
Today, photovoltaic systems offer an attractive solution for increasing numbers of applications that demand an economic and reliable power supply – even under extreme environmental conditions.

Siemens manufactures an extensive range of high-quality solar modules using innovative technology. Our continuously refined and field-proven products provide the optimum answer to

practically every energy requirement – from just a few watts up to megawatts. Choosing Siemens solar modules means that you have the ultimate in quality, both now and for the future.

This catalog gives you an overview of Siemens Solar modules, both for industrial applications and for private use. It also contains information on the manufacture of solar modules and the design of photovoltaic systems.

If you require further information or expert assistance in the planning and design of your photovoltaic system, our worldwide network of qualified Siemens Solar dealers will be pleased to help.



Siemens solar modules are used around the world, reliably supplying electricity.

Solar Modules from Siemens – A Clean Solution

Solar modules generate electricity from sunlight in a particularly environmentally friendly way. Their operation pollutes neither air nor water and is completely silent. Even after many years of operation, they continue to supply energy.

Solar-generated electricity can supply autonomous power in rural areas, or can be connected to the grid. In developing countries, photovoltaic systems are already responsible for the widespread supply of clean water and safe electricity.

During the manufacturing of the solar modules, Siemens Solar pays particular attention to the economical use of natural resources and to ongoing improvements in the energy payback time – the time required for the energy consumed during manufacture to be recovered by operating the module. The solar modules' long service life and short energy payback time means that photovoltaic systems have a positive energy balance.

Glass, silicon and aluminium, the main components of the solar modules, can be processed by a recycling plant.

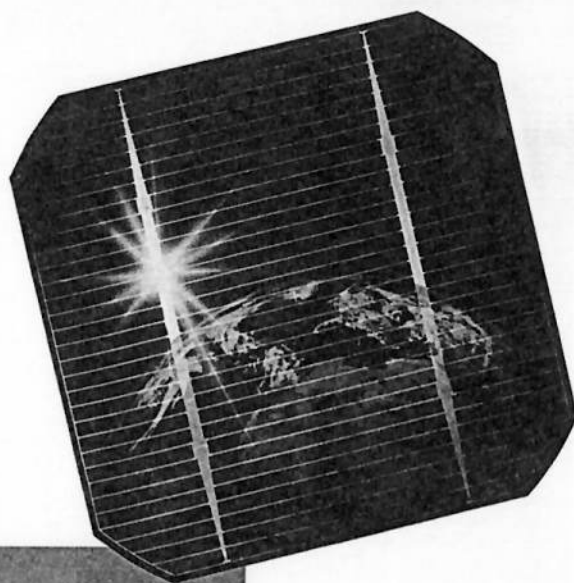
Success through quality and competence

Siemens Solar is the world's leading manufacturer of solar modules – with technological pre-eminence, 30 years' experience and customer-oriented solutions.

Our product quality sets the benchmark to which others aspire: all solar modules are manufactured in accordance with stringent international standards, with ongoing controls to guarantee consistently high quality. Our manufacturing plants in Camarillo, CA, Vancouver, WA and Munich, Germany are ISO 9001 certified. Our success can be measured by the fact that Siemens is the first company to supply, through 1997, solar cells and modules with a total peak cumulative output of 140 megawatts – approximately one-fifth of the total photovoltaic power installed in the world.

140 MW could generate 280 million kilowatt-hours annually in the sunny regions of developing countries – enough to ensure the basic needs of 2.8 million households.

Solar system connected to the grid in Germany



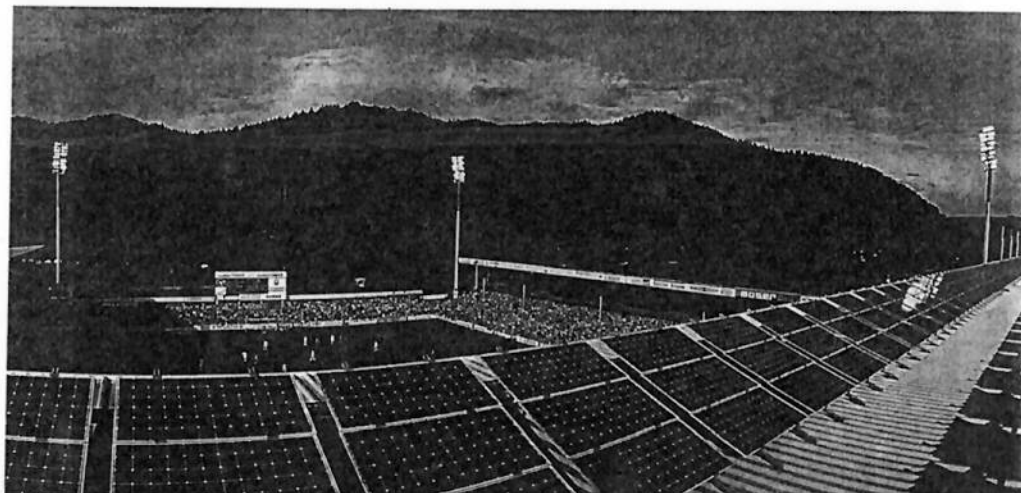
Telecommunications system in Greece



Water supply in Mauritania



Residential solar system



PowerMax® - Leading-Edge Technology from Siemens: Competence Based on Experience

The high quality of Siemens Solar products is the result of ongoing refinement and optimization of the production process. Siemens solar cells are based on single-crystalline silicon technology that offers better efficiency than multicrystalline or amorphous silicon and other thin film technologies. Silicon is environmentally friendly, and there is almost unlimited availability in the form of silica

already boron-doped wafers provides the electrical means of exploiting the photovoltaic effect. Silver paste is applied to the front and back of the solar cell forming metallic electrical circuit contacts using inexpensive screen-printing technology. The subsequent firing process guarantees maximum electrical conductivity.

cially hardened, highly transparent front glass and the multi-layer back sheet to protect them against moisture and to ensure UV stability and electrical insulation. The components are laminated at a high temperature to form a securely protected encapsulation.

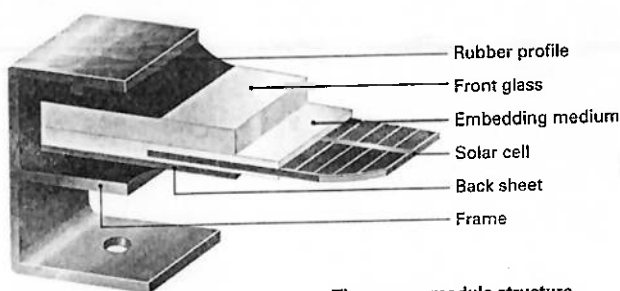
At the end of the production process the module is fitted with a torsion-resistant frame, made of anodized aluminium with extremely high mechanical stability.

Bypass diodes in the junction boxes protect the cells from excess local heating should partial shading of the module occur.

Exclusive to Siemens Solar is the ProCharger™ junction box which provides for easy module connection using cable, conduit or wire. This junction box is available on many of our modules.

The optical, mechanical and electrical function of every module is tested in detail before it leaves our factory. Each module is labeled with a bar code and serial number.

Reliable high-efficiency solar cells are manufactured from pure silicon which is drawn into a single crystalline ingot from the melt. This ingot is sawn into wafers that are specially treated and further processed into solar cells.

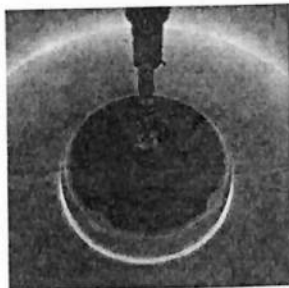


The proven module structure in sectional view

sand. Purified polycrystalline silicon is melted and grown into round single crystalline ingots. The round ingots are trimmed to produce an almost square cross-section. This shape makes optimum use of the module surface area (SM line). If this optimum use is not required, this step is omitted in favor of an economic production process (SR line).

The blocks are cut into wafers using a very low-loss sawing process. To improve light absorption, the proprietary TOPS™ process is used. The surface of each wafer is given a pyramid shape by means of a special textural etching process. The subsequent phosphorus-doping of the

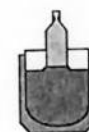
Once tested, the solar cells are electrically connected to form strings. The solar cells are protected by a proven modular design. The cell strings are embedded in Ethylene Vinyl Acetate (EVA) between spe-



Polycrystalline silicon



Silicon ingot growing



Ingot slabbing



Wafer sawing



Phosphorus diffusion



Silk screen



Solar cell



Circuit



Lamination



Framing



Solar module



PowerMax® technology

Siemens Solar's proprietary PowerMax® technology is used to optimize the cells and modules for electrical performance in all types of environmental conditions. This includes the growing of high-purity single crystalline silicon ingots and special processes to optimize efficiency.

Siemens is the first manufacturer to process wafers under clean-room conditions similar to semiconductor plants that make computer chips. Such investments pay off: even at relatively low light levels, Siemens Solar cells deliver the maximum possible energy, while other technologies suffer losses in power output.

Another advantage is gained by the consistent use of computer-aided inspection systems at all stages of wafer processing, to ensure that only cells that meet Siemens Solar's stringent quality demands are further processed.

The multistage proprietary TOPS™ (Texture Optimized Pyramidal Surface) process is part of the PowerMax® technology. Light absorption of the solar module is optimized, as recognized by the extremely dark color of the cells. The most striking feature of the TOPS™ process is the special textural etching which creates a pyramid-shaped surface on the solar cell. This means that light absorption is especially high, even in lower light. The cell therefore delivers maximum energy throughout the day.

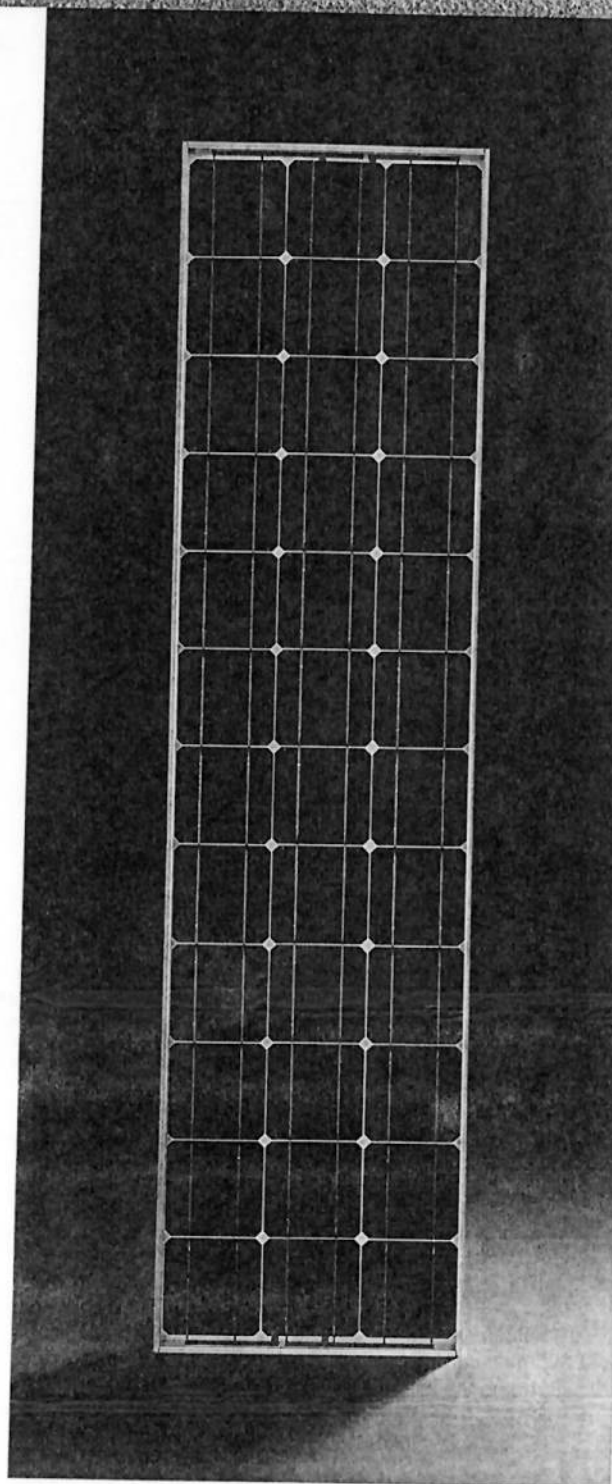
Use in hot regions

In hot climates, the use of modules for charging batteries is sometimes problematic since the output voltage falls with increasing solar cell temperature. With 36 series-connected PowerMax® cells, modules such as the SR50-Z and SR90 models generate sufficient voltage to charge batteries even under very hot ambient conditions.

New quality benchmarks

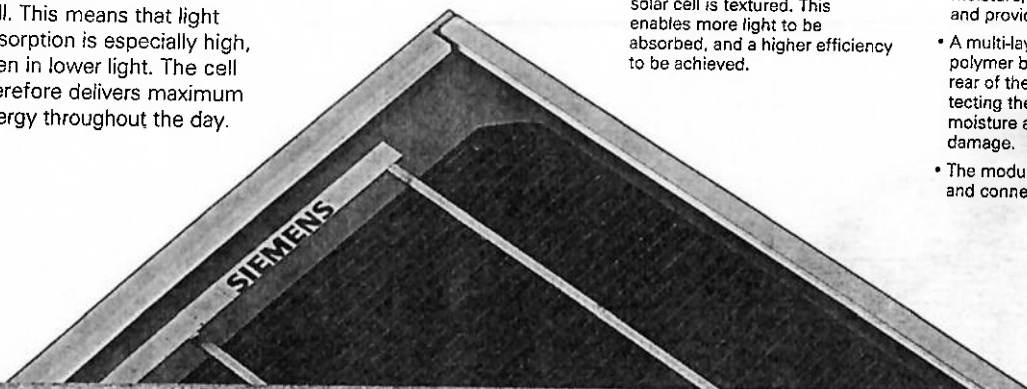
Siemens Solar specifies high quality standards in every stage of production which set the benchmarks for others. Careful controls guarantee consistently high quality which, for many years, has been verified by the leading independent testing agencies. The electrical and mechanical durability, reliability and safety of individual module types for long-term outdoor operation is validated by testing to IEC 1215, UL listing 1703, JPL specification no. 5101-161 and FM (Factory Mutual).

High quality standards yield particularly durable products. For this reason Siemens Solar offers an extended warranty on all solar modules of 46 watts or greater output.



Performance features:

- All solar cells are electrically matched to guarantee optimum power outputs.
- PowerMax® single crystalline solar cells deliver optimum power output even under reduced light or poor weather conditions.
- The surface of the PowerMax® solar cell is textured. This enables more light to be absorbed, and a higher efficiency to be achieved.
- The highly transparent tempered glass offers protection against wind, rain, hail and sand.
- Multiple contacts on the front and rear surfaces of each cell ensure maximum operational security.
- The use of a soft EVA (ethylene vinyl acetate) embedding medium offers protection against moisture, ensures UV stability and provides electrical insulation.
- A multi-layer, high-strength polymer back sheet seals the rear of the module, thereby protecting the solar cells against moisture and mechanical damage.
- The modules are easy to install and connect.



Solar modules from Siemens in practice: Top technology which pays off

Independent studies show that solar modules from Siemens are the best in practical use.

Quality pays off because solar modules from Siemens produce the maximum power yields. For instance, investment costs are reduced by 10 to 20% with comparable output compared to modules from other manufacturers. This was demonstrated by the largest international, broadly-based test of the use of grid-connected photovoltaic systems – the German 1000 Rooftops Program.

The program was promoted by the Federal Ministry of Education, Science, Research and Technology (BMBF). During the period between 1990 and 1995, a total of 2,250 systems with an overall output of 5 megawatts were installed. Every second module was supplied by Siemens.

The result of the accompanying measurement and analysis program speaks for Siemens quality: Under the overall guidance of the Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, the working group reached the con-

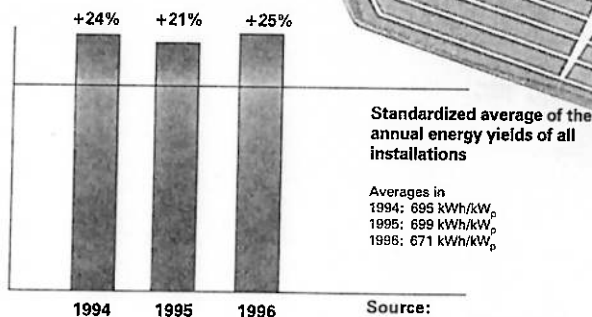
clusion that only solar modules from Siemens achieved the highest energy yields during operation. One special example was our SM55 module, of which more than one million units have been sold to date. Solar module SM50-H also turned in an excellent performance.

The results of the studies speak for themselves

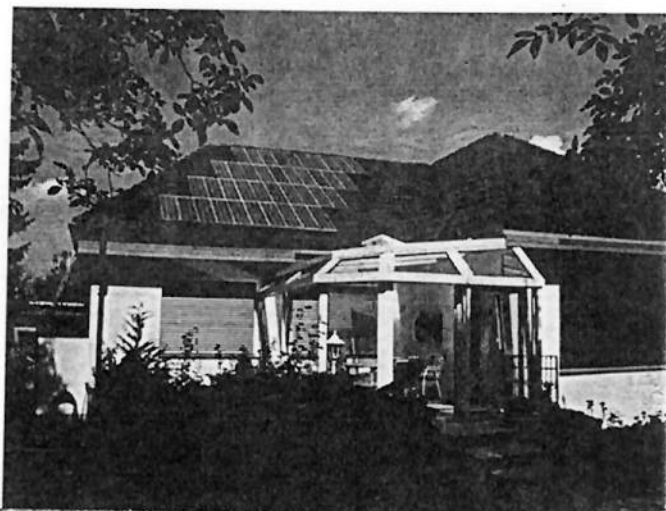
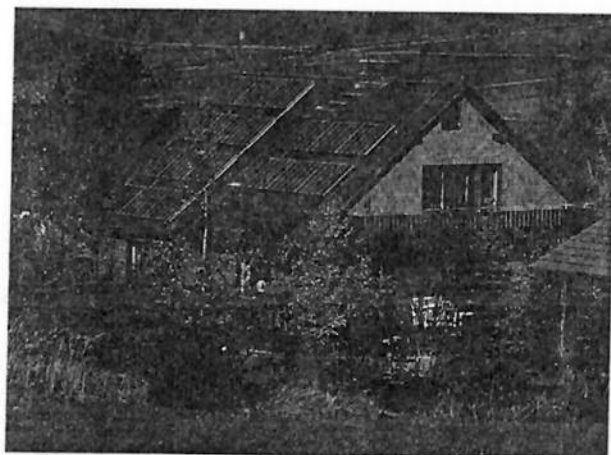
- The 8 best measured systems all use Siemens solar modules and **yield 25% more energy** than the average value for all systems
- Over 90% of all systems with very good energy yield use Siemens modules
- Only Siemens Solar modules achieve the highest operational efficiency

These impressive results are due in large part to the use of PowerMax® technology from Siemens. Thanks to the outstanding level of light absorption offered, optimum benefit can be derived even when solar radiation is low. Siemens solar modules produce maximum energy levels throughout the entire day.

Greater yield of the Top 8
(all with Siemens modules)

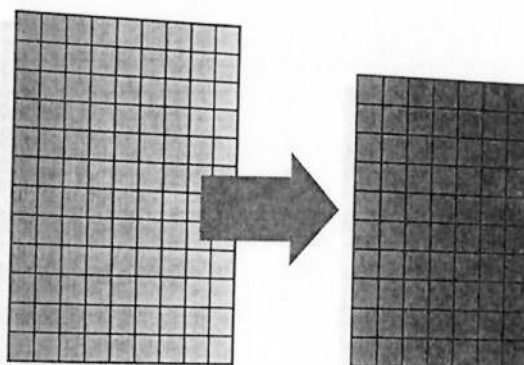


Source:
Jahresjournal 1994-1996
FhG ISE



This success is founded not only on our own unique technology, but also on the consultancy skills of our qualified Siemens Solar dealers. Only a well-planned and correctly dimensioned photovoltaic system achieves the desired output. Regardless of whether you need advice about a suitable installation site, the ideal angle for the modules or the proper wiring, our qualified Siemens Solar dealers can provide expertise based on practical knowledge, from planning through to completion. With thirty years of photovoltaic experience, Siemens offers you particularly reliable and economically attractive solutions through its qualified Siemens Solar dealers.

Solar modules from Siemens are the right choice for a higher level of operational efficiency in practice. Compared to other modules, customers save 10 to 20% of the investment costs with the same energy yield.



PV Generator from Manufacturer A

PV Generator from Siemens

Same energy yield per year

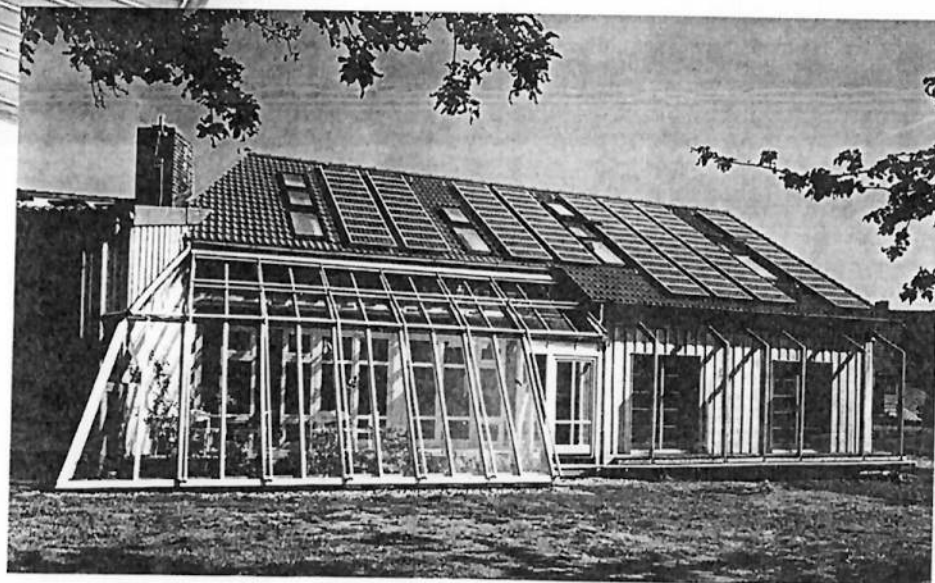
but

10-20% lower investment costs with Siemens modules

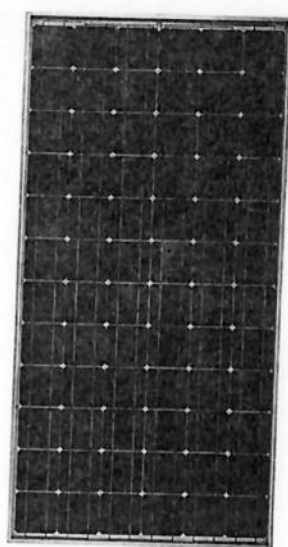
Source:
Annual Journal 1996, FhG ISE

- Only Siemens modules achieve the maximum levels of operational efficiency.

- Greater efficiency saves around 10 to 20% in investment costs compared to modules from other manufacturers.



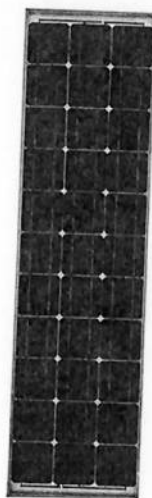
Solar Modules: The complete product line



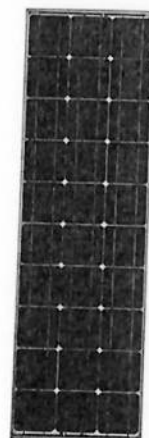
SM110/SM100



SM55/SM50



SM50-H



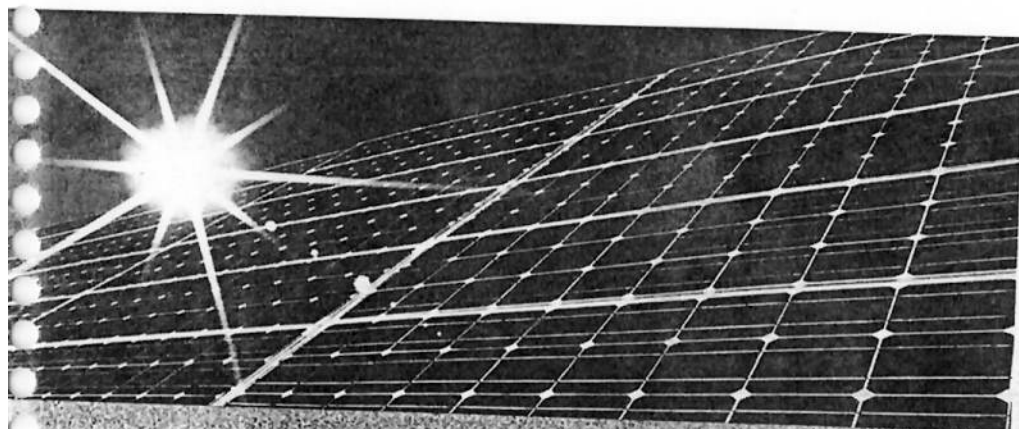
SM46



SM20

Module type	SM110	SM100	SM110-L	SM100-L	SM55/SM50	SM50-H	SM46	SM20
Electrical parameters								
Rated power P_{mst} [W _p]	110	100	110	100	55 / 50	50	46	20
Configuration	12/24 V	12/24 V	12/24 V	12/24 V	12 V	12 V	12 V	12 V
Rated current I_{MPP} [A]	8.3/3.15	5.9/2.95	8.3/3.15	5.9/2.95	3.15 / 3.05	3.15	3.15	1.38
Rated voltage U_{MPP} [V]	17.5/35.0	17.0/34.0	17.5/35.0	17.0/34.0	17.4 / 16.6	15.9	14.6	14.5
Short circuit current I_{sc} [A]	6.9/3.45	6.5/3.25	6.9/3.45	6.5/3.25	3.45 / 3.4	3.35	3.35	1.6
Open circuit voltage U_{oc} [V]	21.7/43.5	21.0/42.0	21.7/43.5	21.0/42.0	21.7 / 21.4	19.8	18.0	18.0
Physical parameters								
Length A [inches (mm)]	51.8 (1316)		51.45 (1307)		50.9 (1293)	48.0 (1219)	42.7 (1083)	22.3 (567)
Width B [inches (mm)]	25.98 (660)		25.67 (652)		13.0 (329)	13.0 (329)	13.0 (329)	12.9 (328)
Depth C [inches (mm)]	1.6 (40)		.02 (5.5)		1.3 (34)	1.3 (34)	1.3 (34)	1.4 (35)
Depth including terminal box [inches (mm)]	2.1 (54)		2.0 (52)		—	—	—	—
Weight [pounds (kg)]	25.1 (11.5)		20.73 (9.5)		12.0 (5.5)	11.5 (5.2)	10.2 (4.6)	5.6 (2.5)
Interconnect Type								
Type of terminal box	Sp		Sp		S	S	S	cable
Mounting holes								
Hole distance D [inches (mm)]	50.5 (1283)		—		49.8 (1264)	46.9 (1191)	41.5 (1054)	21.3 (540)
Hole distance E [inches (mm)]	25.3 (643)		28.93 (735 ¹)		25.3 (643)	25.3 (643)	25.3 (643)	—
Hole distance F [inches (mm)]	24.2 (615)		—		11.3 (286)	11.3 (286)	11.3 (286)	11.3 (286)
Performance warranty [years]	25		25		25	25	25	10

Power specifications are at standard test conditions of: 1000 W/m² solar irradiance, 25°C cell temperature and solar spectral irradiance per ASTM E892.
Detailed data sheets for all module types available at your qualified Siemens Solar dealer.





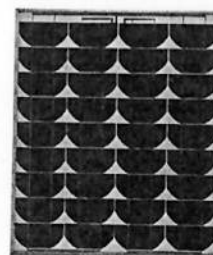
SM10



SM6



SP75/SP70



SP36



SP18

Module type	SM10	SM6	SP75	SP70	SP36	SP18
Electrical parameters						
Rated power P_{max} [W _p]	10	6	75	70	36	18
Configuration	12 V	12 V	6 / 12 V*	6 / 12 V*	6 V / 12 V*	6 V / 12 V*
Rated current I_{MPP} [A]	0.61	0.39	8.8 / 4.4	8.5 / 4.25	4.2 / 2.1	2.1 / 1.1
Rated voltage U_{MPP} [V]	16.3	15.0	8.5 / 17.0	8.25 / 16.5	8.5 / 17.0	8.5 / 17.0
Short circuit current I_{SC} [A]	0.71	0.42	9.6 / 4.8	9.4 / 4.7	4.8 / 2.4	2.4 / 1.2
Open circuit voltage U_{OC} [V]	19.9	19.5	10.9 / 21.7	10.7 / 21.4	10.9 / 21.7	10.9 / 21.7
Physical parameters						
Length ^A [inches (mm)]	14.2 (360)	13.0 (330)	47.3 (1200)		24.9 (633)	24.9 (633)
Width ^B [inches (mm)]	13.0 (330)	6.9 (175)	20.8 (527)		20.8 (527)	10.8 (275)
Depth ^C [inches (mm)]	1.4 (35)	1.4 (35)	1.3 (34)		1.3 (34)	1.3 (34)
Depth including terminal box [inches (mm)]	—	—	2.2 (56)		2.2 (56)	2.2 (56)
Weight [pounds (kg)]	3.7 (1.8)	2.2 (1.0)	16.7 (7.6)		9.5 (4.3)	5.9 (2.7)
Interconnect Type						
Type of terminal box	cable	cable	CR		CR	CR
Mounting holes						
Hole distance ^D [inches (mm)]	13.1 (333)	11.9 (303)	46.1 (1172)		23.9 (607)	23.9 (607)
Hole distance ^E [inches (mm)]	—	—	25.3 (643)		6.0 (152)	6.0 (152)
Hole distance ^F [inches (mm)]	11.3 (287)	5.2 (132)	19.0 (483)		19.0 (483)	9.2 (232)
Performance warranty [years]	10	10	25		10	10

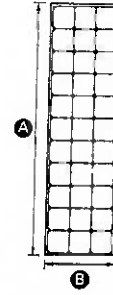
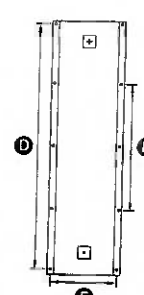
Power specifications are at standard test conditions of: 1000 W/m² solar irradiance, 25°C cell temperature and solar spectral irradiance per ASTM E892. Detailed data sheets for all module types available at your qualified Siemens Solar dealer.

* Voltage selectable. Default setting: 12 V.

Legend

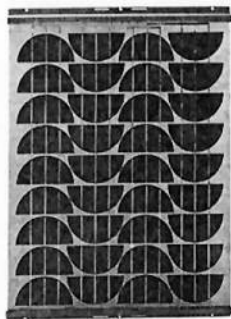
- 1 terminal box
- 2 terminal boxes
- cable

^u Distance between mounting clamps

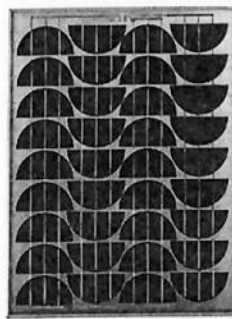




SR100/SR90



SR50-Z



SR50



ST10

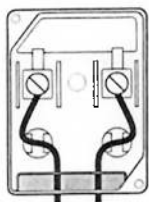


ST5

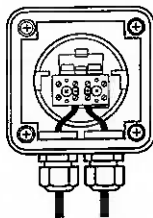
Module type	SR100	SR90	SR50-Z	SR50	ST10	ST5
Electrical parameters						
Rated power P_{max} [W _p]	100	90	50	50	10	5
Configuration	6 V / 12 V*	6 V / 12 V*	12 V	6 V / 12 V*	12 V	12 V
Rated current I_{MPP} [A]	11.2 / 5.6	10.8 / 5.4	2.95	5.9 / 2.95	.53	.27
Rated voltage U_{MPP} [V]	8.85 / 17.7	8.5 / 17.0	17.0	8.5 / 17.0	18.8	18.8
Short circuit current I_{sc} [A]	12.6 / 6.3	12.2 / 6.1	3.2	6.4 / 3.2	.61	.31
Open circuit voltage U_{oc} [V]	11.0 / 22.0	10.8 / 21.6	21.6	10.8 / 21.6	25.0	25.0
Physical parameters						
Length A [inches (mm)]	59.0 (1498)	59.0 (1498)	32.4 (822)	30.8 (783)	12.93 (328)	12.93 (328)
Width B [inches (mm)]	23.4 (594)	23.4 (594)	23.5 (597)	23.4 (594)	15.25 (387)	8.12 (206.2)
Depth C [inches (mm)]	1.6 (40)	1.6 (40)	1.6 (41)	1.34 (34)	1.4 (35)	1.4 (35)
Depth including terminal box [inches (mm)]	2.2 (56)	2.2 (56)	—	2.2 (56)	—	—
Weight [pounds (kg)]	24.0 (10.9)	24.0 (10.9)	12.0 (5.5)	13.0 (5.9)	5.16 (2.4)	3.01 (1.4)
Interconnect Type	—	—	—	—	—	—
Type of terminal box	CR	CR	S	CR	Cable	Cable
Mounting holes						
Hole distance D [inches (mm)]	57.6 (1463)	57.6 (1463)	31.8 (807)	25.3 (643)	11.21 (284.7)	11.21 (284.7)
Hole distance E [inches (mm)]	25.3 (643)	25.3 (643)	—	15.35 (390)	—	—
Hole distance F [inches (mm)]	21.9 (558)	21.9 (558)	19.7 (500)	21.7 (550)	14.1 (358.9)	7 (177.8)
Performance warranty [years]	25	25	10	25	5	5

Power specifications are at standard test conditions of: 1000 W/m² solar irradiance, 25°C cell temperature and solar spectral irradiance per ASTM E892. Detailed data sheets for all module types available at your qualified Siemens Solar dealer.
 * Voltage selectable. Default setting: 12 V.

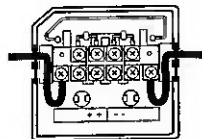
ProCharger™-S box



Sp box

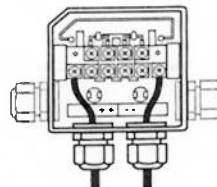


ProCharger™-CR box



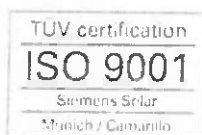
Wire entry shown

ProCharger™-CR box



Cable fittings shown

Solar modules: Models and Certificates



Module options						Interconnect type					Certificates*					
Module	Frame	Laminate	6 V	12 V	24 V	CR box	S box	cable	Sp box	MC connector	IEC	UL	FM	JPL	TÜV	CE
SM6	•			•				•				•	•	•		•
SM10	•			•				•				•	•	•		•
SM20	•			•				•				•	•	•		•
SM46	•			•			•				•	•		•	•	•
SM50-H	•			•			•				•	•		•	•	•
SM50**	•			•			•				•	•		•	•	•
SM55**	•			•			•				•	•		•	•	•
SM100	•			•					•	○	•				•	•
SM100-L		•		•					•	○	•				•	•
SM100-24	•				•				•	○	•				•	•
SM100-24L		•			•				•	○	•				•	•
SM110	•			•					•	○	•				•	•
SM110-L		•		•					•	○	•				•	•
SM110-24	•				•				•	○	•				•	•
SM110-24L		•			•				•	○	•				•	•
SP18	•		•	•		•						•	•	•	•	•
SP36	•		•	•		•						•	•	•	•	•
SP70	•		•	•		•					•	•	•	•	•	•
SP75	•		•	•		•					•	•	•	•	•	•
SR50	•		•	•		•					•	•	•	•	(•)	•
SR50-Z	Z			•			•				(•)		•	•	(•)	•
SR90	•		•	•		•					•	•	•	•	(•)	•
SR100	•		•	•		•					•		•	•	(•)	•

- Standard Product features
- Options are surcharged; minimum order amount required
- (•) In preparation
- Z Z frame

*] Certificates

IEC	IEC 1215	JPL	Specification No. 5101-161
UL	UL-Listing 1703	TÜV	safety class II
FM	Factory Mutual	CE	CE mark

**] For UL, FM, JPL: Check regional validity



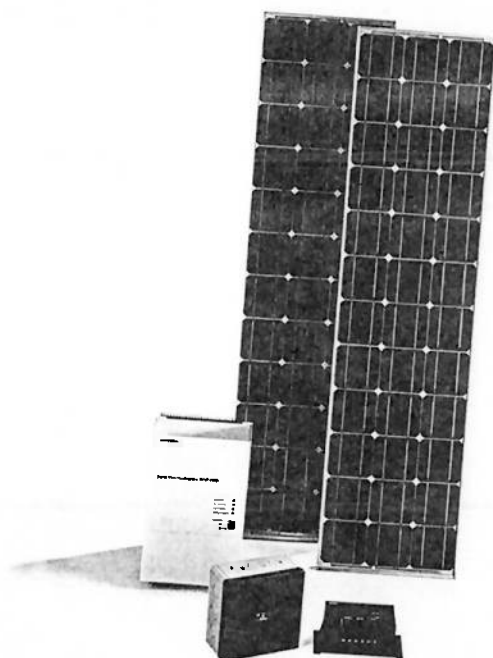
Elements of a solar electric power system

Solar systems begin with the solar module. Modules gather solar energy in the form of sunlight and convert it into direct current (DC) electricity. The more sunlight they receive, the more electricity they produce. Solar modules are the heart of the system. They are the power generators.

Components such as charge regulators, batteries and inverters regulate, store, condition and deliver the electricity. Other elements connect the different components of the system.

Solar systems have to meet high standards of reliability and economic efficiency. This can only be guaranteed by the use of field-proven quality components that are well matched. The Siemens Solar partners offer a wide range of components.

Sunlight	Sunlight is energy in the form of light. It is the fuel of a solar (photovoltaic) system.
Solar Module	Solar modules generate DC electricity directly from sunlight. Use one or more modules depending on your power needs and the amount of sunlight available.
Charge Regulator	Charge regulators are the link between the modules, battery and load. They protect the battery from overcharge or excessive discharge.
Battery	Batteries store the energy generated by the solar modules.
Inverter	Inverters convert DC (direct current) electricity into AC (alternating current) to run many common appliances and equipment.
Mounting Structure	Mounting structures hold the solar modules securely in place. Ground, roof and pole mounting versions are available.
Load	The appliances, lights and equipment being powered are called electrical 'loads.' Energy-efficient loads contribute to overall system efficiency and economy.
Wiring / Interconnects	Proper wiring and connections must be specified for every segment of the system to assure best performance.
Back-up Generator	Compatible generators (i.e. diesel) may be used as back-up for excessive power demands or during unanticipated long sunless periods.
Space	Solar modules should be installed in an area that is generally free from shade and receives as much direct sun exposure as possible.
Maintenance	Solar systems are one of the easiest and most reliable ways to generate electricity. Regular maintenance to check wiring, connections, batteries, and overall system condition will help assure long-term trouble-free operation.



Siemens offers a complete line of solar modules for all types of applications. The qualified Siemens Solar systems integrators will be pleased to assist you in the selection of your system elements. Making certain they are matched and compatible will help your solar system operate efficiently and reliably.

Types of solar electric systems

Solar systems can be as simple as just a solar module and load, as in the direct powering of a water pump motor, or more complex, as in a system to power a modern home. While a water pump may only need to operate when the sun shines, the home system will need to operate day and night. It also may have to run both AC and DC loads, have reserve power and may include a back-up generator.

In either case, basic solar system principles and elements remain the same. Systems are adapted to meet particular energy requirements by varying the type and quantity of the basic elements. And, as systems are modular, they can always be expanded as power demands increase.

While solar power is often used independently, it may also be used in conjunction with other complementary power sources to provide complete energy solutions.

This kind of system flexibility, along with proven dependability, has led to solar energy being relied upon for virtually every conceivable use of electricity, from powering small appliances to small towns, to telecommunications sites.

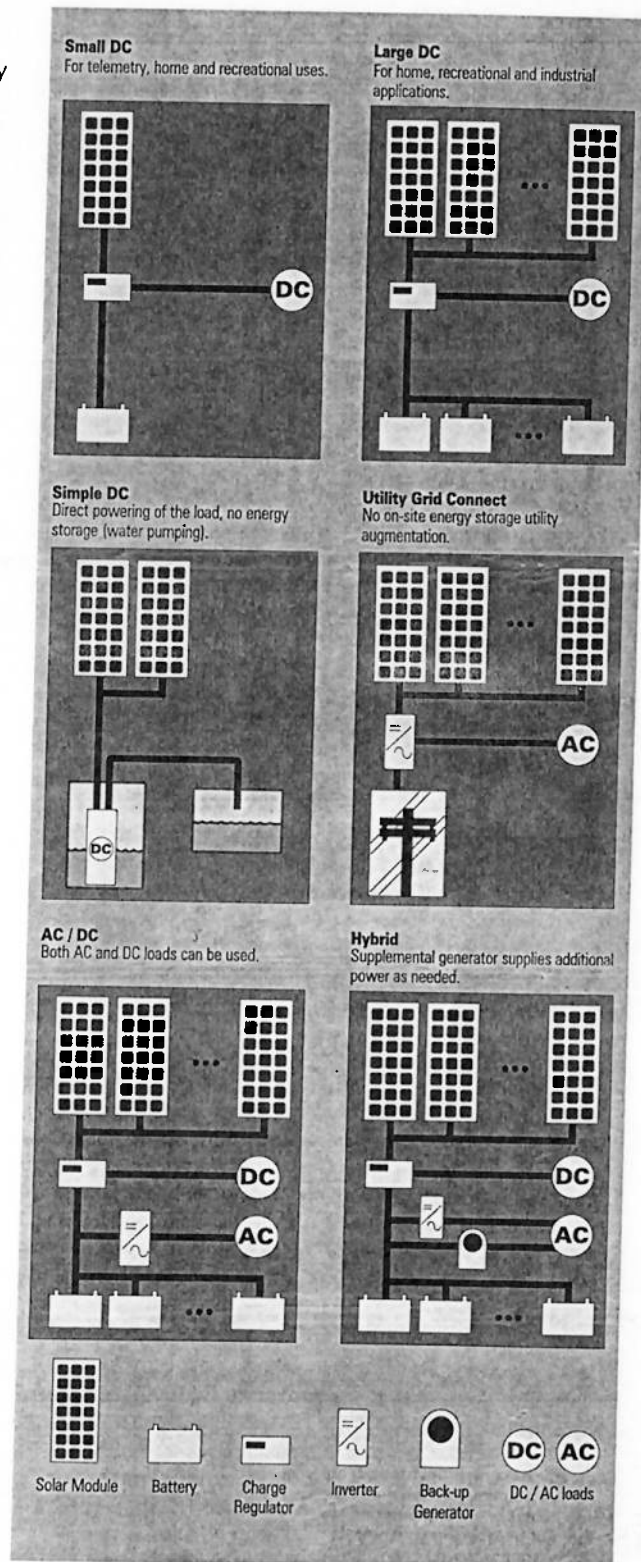
Solar energy's unique attributes of needing no fuel, high durability and reliability and being able to operate for prolonged periods without maintenance, make it economical for all types of remote applications. These unique attributes also permit solar energy to be used in places and for purposes where no other power source is feasible.

These systems provide a high degree of system power availability demanded by critical communications sites.

There are several factors that determine the specific components you will need and how they'll be configured in your system. The amount of power needed is only one of the considerations. The system location, the distance of the modules to the load, as well as the type of load and its frequency of use should also be considered in designing your system.

For most solar power systems you should seek the advice of a qualified Siemens Solar dealer. To get a preliminary idea of what you will need for your system, review some of the basic system configurations shown here and refer to the System Sizing section in this catalog.

Most photovoltaic systems use the same basic elements. By varying quantities and sizes, systems may be adapted to meet virtually any power requirement.



System Sizing

'Sizing' a system means determining how much energy is required and how many solar modules are needed to generate it.

A solar system must provide enough energy to replace that being consumed daily by the loads (lights, appliances, equipment), plus some to compensate for energy used by the system itself.

There are two main things you will need to know to do your system sizing:

1. How much electricity will you be using

You calculate this for every load and then add the results together. Electrical use is figured in terms of 'Watt-hours'. This is the appliance's power rating (Watts) multiplied by the average amount of time (hours) it operates daily.

In addition to the electricity used by appliances, the system itself also consumes some power. For example: you do not get back all the energy you put into a battery; an inverter uses some energy to convert electricity from DC to AC; and voltage is lost as electricity travels through wires. A factor to allow for these needs is included on the Sizing Worksheet.

2. How much electricity will be produced by a solar module

You estimate this by multiplying a module's power rating (Watts) by the 'Area Factor' from the map

above. This gives you the typical Watt-hours produced per day by a solar module at an average location in the area.

Use the sizing worksheet as a guide in calculating these figures. Follow the directions and you'll get a reasonable estimate of how many solar modules and batteries you will need.

Please keep in mind that every solar installation is unique and is affected by many factors, such as:

Local weather patterns: these can vary greatly even within a small geographic area.

Installation: even brief shadowing affects a module's daily output and modules that are not oriented properly toward the sun will produce less power.

Seasonal changes: this estimate is based on a yearly average. The energy produced in winter will be less than average and in summer it will be more than average.

The number of modules needed will vary based on these factors. You may also desire back-up battery capacity and may want to anticipate future needs by having additional solar power available now.

Energy conservation

As you review your energy needs, remember the importance of using energy-efficient equipment and appliances. For instance, using a 20 W fluorescent light for three hours a day, rather than a 75 W incandescent light, will give you the same amount of light and save you over 60,000 Wh of energy during the course of a single year. That is generating capacity you do not have to buy, or power you can use for other purposes.

Energy accumulation

Solar systems produce energy whenever there is sunlight. A 50 W module, may produce 1,500 Wh of energy in a week. If you are powering a cabin that you only visit on weekends, just a couple of modules may give you 3,000 Wh of power for your visit. This may be plenty of energy to meet your needs – and all from just a 100 W system.

Batteries

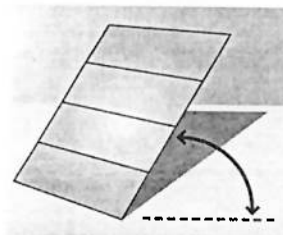
Batteries are a major component in solar systems. A number of different types and capacities are available. The best battery for your system depends on many factors and often requires analysis and advice from a solar energy professional. Many small to medium sized systems can use pho-

This map divides the world into five solar performance regions based on a yearly average of: daily hours of sunlight and ambient temperature. Each specific site will, of course, be different. Also, local weather conditions and seasonal changes can significantly affect the amount of sunlight available.

tovoltaic or marine grade batteries. These are designed to be deep-cycled (discharge-recharge) many times and are generally maintenance-free. They are available in capacities of about 120 Amp-hours.

Batteries must be able to store enough energy for daily operations. A reserve should be considered to have additional capacity to operate the loads during anticipated periods of cloudy, sunless weather. This reserve capacity is referred to as system 'autonomy' and is rated in days. The amount of autonomy needed varies. For critical loads such as telecommunications you may want 10 or more days of autonomy, for a residence perhaps five days, and only a day or two for a vacation cabin.

Of course, solar design can be made very easy, by calling a qualified Siemens Solar dealer.



Solar modules should be installed at the correct 'tilt-angle' to achieve best year-round performance. Generally, this is an angle equal to the site's latitude plus 20°, with modules facing south in northern latitudes and north in southern latitudes.

System Sizing Worksheet

Typical Appliance Power Consumption

(See appliance for actual power used)

DC	[W]
Ceiling Fan	20
Refrigerator	50-70
Television (25 cm, color)	45
Fluorescent Light	5-13
Stereo / Tape Player	100

AC	[W]
Fluorescent Light	7-26
Television (48 cm, color)	60-85
Stereo	40
Microwave Oven	450-750
Refrigerator (400 l)	90-150
Toaster	900-1100
Power Drill	450-1000
Evaporative Cooler	200-300

Module Power Rating

See pages 7-10

Example:

The SM55 module has a module power rating of 55 W. In the occurrence of area factor 4 a daily output of 220 Wh is rendered.

Daily DC Requirements

List each DC load (Watts).

Multiply by average daily use (hours).

Add to find average daily DC load.

Add 30%* of the total.

The sum is your Average Daily DC Energy Requirement.

Daily AC Requirements

List each AC load (Watts).

Multiply by average daily use (hours).

Add to find average daily AC load.

Add 40%* of the total.

The sum is your Average Daily AC Energy Requirement.

Daily Power Requirement

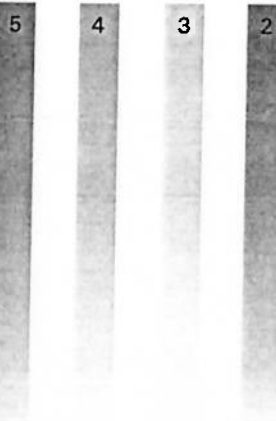
Total your average daily DC and AC Energy Requirements.

Back-up Generator Adjustment

Subtract the average daily energy produced by any back-up generator.

Total Solar Energy Requirement

X area factor
(From map on previous page)



Appliance	W	x	h	=	Wh
Fluorescent light	13		3		39
TV	45		3		135
Fan	20		4		80
= Average daily DC energy use					254
+ Allowance for battery and system losses (30%)					76
= Average Daily DC Energy Requirement					330

+

Appliance	W	x	h	=	Wh
Power tool	500		0.25		125
Computer	40		3.5		140
Stereo	35		2.0		70
= Average daily AC energy use					335
+ Allowance for battery / inverter and system losses (40%)					134
= Average Daily AC Energy Requirement					469

=

799

-

n/a

=

799

÷

220

=

4

Daily Watt-hours per module

Select a module wattage rating.

Multiply it by the installation site's Area Factor.

The result is the Daily Watt-hours per module.

Estimated Module Requirement

Total Solar Energy Requirement.

Divided by: Daily Watt-hours per module.

Rounded up to the nearest whole number.

Battery Sizing

799

1) Daily Power Requirement

X

5

2) Reserve Factor

Multiply (1) by the number of days that batteries must operate loads without solar charge. (See 'Batteries' previous page.)

=

3995

+

1199

3) Safety Factor

30% Capacity reserve

=

5194

4) Required Battery Capacity

(In Watt-hours. To convert to Amp-hours, divide by voltage [V])

* This factor compensates for the battery and/or inverter (which use some energy to perform their functions) and other system losses.

Your address for photovoltaics from Siemens Solar

Internet: www.siemenssolar.com

Status 10/98 - Subject to modifications - © 1998 Siemens Solar

Siemens Solar GmbH

A joint venture of
Siemens AG and Bayernwerk AG
Postfach 46 07 05
D-80915 München
Germany
Telefax (089)636-5 91 73

Siemens Solar Industries

P.O. Box 6032
Camarillo, CA 93011
United States of America
Telefax (805)388-6395
Web site: www.siemenssolar.com
E-mail: sunpower@solarpv.com

Siemens Showa Solar Pte. Ltd.

166 Kallang Way
Singapore 349249
Telefax (00 65)842-3887
Order No. A95002 P0021 E414 DG
019821 Rev C

Environmentally friendly - paper bleached without chlorine
Printed in USA