



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA A COMUNIDADE DE SANTO ANTÔNIO DAS VAREJAS, RIO PRETO - MG

Davi Duque da Incarnação

Projeto de graduação apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento, Dr. Eng.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
FEVEREIRO DE 2012

**UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA A COMUNIDADE DE SANTO
ANTÔNIO DAS VAREJAS, RIO PRETO - MG**

Davi Duque da Incarnação

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO ELETRICISTA.

Aprovada por:

Prof. Jorge Luiz do Nascimento, Dr. Eng.
(Orientador)

Prof. Luís Guilherme Barbosa Rolim, Dr.-Ing.

Prof. Sergio Sami Hazan, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
FEVEREIRO DE 2012

Incarnação, Davi Duque da, 1985-

Um sistema fotovoltaico para a comunidade de Santo Antônio das Varejas, Rio Preto - MG / Davi Duque da Incarnação. – 2012.
83 p.: Il.; 29,7 cm.

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia Elétrica, 2012.

1. Sistema solar fotovoltaico. 2. Fontes renováveis. 3. Energia solar. 4. Fontes alternativas de energia. I. Nascimento, Jorge Luiz. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica. Curso de Engenharia Elétrica. III. Um sistema fotovoltaico para a comunidade de Santo Antônio das Varejas, Rio Preto – MG.

Ao meu pai Luiz Carlos e à minha
mãe Maria de Fátima, responsáveis
pela minha educação e formação
do meu caráter

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por tudo o que Ele fez e faz na minha vida. Sem o amor dEle eu nada seria.

Agradeço ao meu pai e minha mãe pela dedicação que tiveram ao me educar, estando ao meu lado em todos os momentos de minha vida.

Agradeço a minha noiva Nilcilene pelo amor, paciência e cumplicidade. Ela que tem sido a razão de todo o meu esforço e a inspiração de todo o meu sorriso.

Agradeço aos meus irmãos Iuri, Pétrus e Fidel, pela amizade e companheirismo, de suma importância na minha formação pessoal e acadêmica.

Agradeço a minha família por ter dado todo carinho e apoio, mãos sempre estendidas nas horas que mais precisei. Agradeço a minha tia Nininha pela grande ajuda nesse projeto de fim de curso.

Agradeço aos meus colegas e amigos por todo incentivo, auxílio etc. Em especial, agradeço a Renata, Dudu, Aretha, Pedro (Frodo), Danilo, Wesley, Amanda, Everton, Thiago e Degmar, que foram decisivos na minha passagem pela universidade, e fizeram ela mais fácil e mais alegre.

Agradeço a todos os professores, que com extrema competência, me mostraram um pouco da engenharia e me ensinaram lições que ficarão por toda a minha vida. Agradeço ao professor Jorge Luiz não só pela orientação neste trabalho, mas também por todos os conselhos e oportunidades, que me fizeram crescer como aluno e como pessoa.

Enfim, agradeço a todas as pessoas que contribuíram de algum modo com a minha formação e sempre acreditaram em mim.

“Apenas que... busquem conhecimento”
(ET Bilú)

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA A COMUNIDADE DE SANTO ANTÔNIO DAS VAREJAS, RIO PRETO - MG

Davi Duque da Incarnação

Fevereiro/2012

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento

Curso: Engenharia Elétrica

O aumento da demanda por energia elétrica vem se colocando como uma grande preocupação mundial, em todas as áreas, sejam urbanas ou rurais. Nos últimos anos, cresce no senso coletivo a necessidade do desenvolvimento de fontes renováveis. Neste sentido, a energia solar se apresenta como uma alternativa atraente, por ser considerada limpa e praticamente inesgotável. A radiação que vem do Sol pode ser captada e aproveitada através de módulos fotovoltaicos, que convertem a energia luminosa em energia elétrica. Como essa radiação chega a qualquer lugar do planeta, e um sistema fotovoltaico possui a característica de ser modular, a energia elétrica gerada a partir da energia solar pode ser levada a comunidades distantes, isoladas da rede convencional de eletricidade. A comunidade rural de Santo Antônio das Varejas, no município mineiro de Rio Preto, possui residências com e sem eletricidade. Desta forma, este trabalho visa o planejamento de um sistema fotovoltaico para o vilarejo de Santo Antônio, que substitua as instalações elétricas onde elas existem, e atenda a toda comunidade.

Palavras chaves: Energia Solar, Fontes Renováveis, Sistema Solar Fotovoltaico, Fontes Alternativas de Energia.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

A PHOTOVOLTAIC SYSTEM FOR THE COMMUNITY OF SANTO ANTÔNIO DAS VAREJAS, RIO PRETO - MG

Davi Duque da Incarnação

February/2012

Advisor: Jorge Luiz do Nascimento

Course: Electrical Engineering

The increased demand for electricity has been considered a major global concern in all areas, whether urban or rural. In recent years, it is a common sense the need of renewable energy sources development. Thus, solar energy is presented as an attractive alternative because it is considered clean and inexhaustible. The radiation from the Sun can be captured and harnessed through photovoltaic modules that convert light energy into electrical energy. As this radiation is available in anywhere on the planet, and a photovoltaic system has the characteristic of being modular, the electricity generated from solar energy can be delivered to remote communities, isolated from the conventional grid electricity. The rural community of Santo Antônio das Varejas, Rio Preto - MG, has homes with and without electricity. Thus, this work aims to propose a photovoltaic system to the village of Santo Antônio, replacing electrical installations where they exist, and serve the entire community.

Keywords: Solar Energy, Renewable Sources, Photovoltaic Systems, Alternatives Energy Sources.

Lista de Figuras

Figura 1.1	Produção de Painéis fotovoltaicos e preço por Watt.....	2
Figura 2.1	Imagens da cidade de Rio Preto.....	6
Figura 2.2	Organização Físico Político Territorial do município de Rio Preto.....	7
Figura 2.3	Vista no interior da capela de Nossa Senhora da Glória, entrada da Gruta da Água Santa, no Funil.....	8
Figura 2.4	Núcleo urbano do vilarejo de Santo Antônio das Varejas.....	11
Figura 2.5	Áreas de proteção ambiental no Núcleo Urbano Isolado de Santo Antônio das Varejas.....	13
Figura 2.6	Rio Preto inserida no Atlas Eólico de Minas Gerais.....	14
Figura 2.7	Radiação solar média anual no plano inclinado de Rio Preto e região.....	16
Figura 2.8	Localização da Usina Solar e o vilarejo Santo Antônio das Varejas.....	19
Figura 2.9	Vista da iluminação do Sol em Santo Antônio.....	20
Figura 3.1	Esquema do sistema fotovoltaico de um SIGFI.....	24
Figura 3.2	Exemplos de sistemas híbridos aplicados na iluminação pública.....	24
Figura 3.3	Esquema de um sistema fotovoltaico com conexão a rede elétrica.....	25
Figura 3.4	Dopagem do Silício com o Fósforo.....	26
Figura 3.5	Dopagem do Silício com o Boro.....	26
Figura 3.6	Curvas Características do módulo fotovoltaico KD210GX-LPU da Kyocera.....	29
Figura 3.7	Princípio de funcionamento e reação química que descreve o processo de carga e de descarga de uma bateria de chumbo-ácido.....	31
Figura 3.8	Configuração do controlador quanto à forma de desconexão do arranjo.....	33
Figura 3.9	Formas de onda da saída dos inversores de onda quadrada, senoidal modificada e senoidal pura.....	35
Figura 4.1	Cidades com dados de radiação próximos a Santo Antônio.....	39
Figura 4.2	Especificações da bateria Delphi Freedom 3000.....	43
Figura 4.3	Especificações do módulo fotovoltaico TWES-(225)60P da EcoSolargy.....	44
Figura 4.4	Esquema de conexão com a rede do arranjo fotovoltaico de Santo Antônio.....	45
Figura 4.5	Disposição dos módulos fotovoltaicos nos painéis da Usina Solar de Santo Antônio.....	47
Figura 4.6	Altura do painel (Z), ângulo de incidência dos raios solares no meio dia solar (h_0) comprimento do painel (c) e distância entre os painéis (d).....	46

Figura 4.7	Disposição dos painéis fotovoltaicos da Usina Solar de Santo Antônio.....	48
Figura 4.8	Equipamentos do sistema fotovoltaico: Inversor GS8048, dois Controladores de Carga FLEXmax 80, o HUB10 e o MATE3.....	49
Figura 4.9	Esquema de conexões entre dois subsistemas em um inversor.....	50
Figura 4.10	Esquema de um sistema autônomo.....	52

Lista de Tabelas

Tabela 4.1	Dados de radiação diária média mensal em kWh/m ² dia das cidades mais próximas a Santo Antônio.....	39
Tabela 4.2	Valor do vetor normal por mês.....	41
Tabela 4.3	Dados de radiação diária média mensal em kWh/m ² dia em Santo Antônio.....	41
Tabela 4.4	Fatores de eficiência dos componentes do sistema fotovoltaico.....	42
Tabela 4.5	Especificação dos painéis fotovoltaicos da Usina Solar de Santo Antônio.....	46
Tabela 4.6	Especificação do arranjo fotovoltaico dos sistemas autônomos em Santo Antônio.....	52
Tabela 5.1	Dados das contas de luz residenciais do vilarejo de Santo Antônio.....	54

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	A importância do Projeto.....	1
1.2	Justificativa.....	3
1.3	Objetivos.....	4
1.4	Organização dos Capítulos.....	5
2	A CIDADE DE RIO PRETO E A COMUNIDADE DE SANTO ANTÔNIO DAS VAREJAS.....	6
2.1	A Cidade de Rio Preto.....	6
2.2	A Comunidade de Santo Antônio das Varejas.....	10
2.3	Alternativas para o Fornecimento de Energia em Santo Antônio.....	12
2.4	A Solução Fotovoltaica.....	17
3	ASPECTOS TEÓRICOS DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA....	21
3.1	Breve Histórico.....	21
3.2	A Energia Solar.....	22
3.3	Sistemas Fotovoltaicos.....	23
3.4	Módulos Fotovoltaicos.....	25
3.4.1	A Célula Fotovoltaica.....	25
3.4.2	Características dos Módulos.....	28
3.4.3	Formação de Painéis e Arranjos.....	29
3.4.4	Posicionamento.....	29
3.5	Baterias.....	30
3.6	Controladores de Carga.....	32
3.6.1	Seguidores do Ponto de Máxima Potência (MPPT).....	34
3.7	Inversores.....	34
4	DIMENSIONAMENTO DA USINA SOLAR DE SANTO ANTÔNIO DAS VAREJAS.....	37
4.1	Estimativa da Carga.....	37
4.2	Determinação da Radiação Solar.....	38
4.3	Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede.....	41
4.3.1	Dimensionamento do Banco de Baterias.....	41
4.3.2	Dimensionamento dos Painéis Fotovoltaicos.....	43
4.3.3	Configuração do Arranjo Fotovoltaico.....	45
4.3.4	Escolha do Controlador de Carga.....	48
4.3.5	Escolha do Inversor.....	48
4.4	Dimensionamento dos Sistemas Fotovoltaicos Independentes.....	50
5	CONCLUSÃO.....	53
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
7	ANEXOS.....	58

Introdução

1.1 – A Importância do Projeto

O atendimento energético das comunidades rurais e/ou isoladas ainda é um desafio para as administrações governamentais, sobretudo, nos países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento. Embora o Brasil tenha tido êxito com os programas de eletrificação rural “Luz no campo” e “Luz para todos”, existem ainda localidades em que a oferta de energia elétrica não chega, e se chega, nem sempre a todos. Um dos problemas encontrados, além da distância à rede, é a dispersão da comunidade.

Situado na cidade de Rio Preto – MG, o vilarejo de Santo Antônio das Varejas é um exemplo de localidade dispersa. Apesar de estar conectada a rede elétrica da CEMIG já há algum tempo, até pela proximidade com a sede do município, distante somente cinco quilômetros, parte da comunidade, especialmente os sítios mais afastados, ainda não possui energia elétrica.

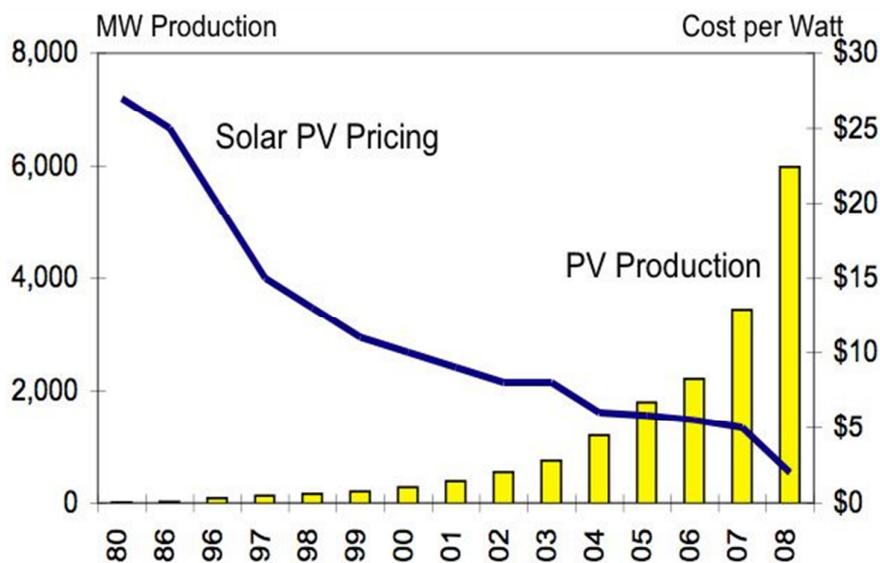
A oferta de eletricidade a uma comunidade rural permite não só seu desenvolvimento socioeconômico, mas uma melhora significativa na qualidade de vida de seus moradores. Antes de ser apenas uma questão técnica é promoção de cidadania e justiça social.

Nem sempre a melhor solução passa por uma usual extensão da rede. Aspectos sociais, ambientais, econômicos e técnicos devem ser levados em conta. Nesse contexto, a geração distribuída se apresenta como uma boa alternativa. No Brasil, isso já vem sendo executado em comunidades isoladas, quer seja por geração a diesel ou por

geração fotovoltaica, através dos Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes – SIGFIs, que definidos por [1], são:

“sistemas de geração de energia elétrica utilizando exclusivamente fonte de energia intermitente, para o fornecimento a unidade consumidora única, constituído basicamente de um sistema de geração, um sistema de acumulação e um sistema condicionador”.

Por outro lado, cresce no senso comum a necessidade da ampliação do uso de fontes renováveis de energia, a fim de garantir o desenvolvimento sustentável. Nesse sentido, a energia solar fotovoltaica se coloca como uma opção fortemente atraente, por ser uma energia limpa e praticamente inesgotável. Nos últimos anos, com o avanço de novas tecnologias e a produção em larga escala, tem-se reduzido consideravelmente os custos da geração fotovoltaica, conforme visto no gráfico da Figura 1.1.



FONTE: O'Meara, Prometheus Institute, Solarbuzz e Green Econometrics research.

Figura 1.1 – Produção de Painéis fotovoltaicos e preço por Watt.

O uso de fontes renováveis de energia, que tem despertado tanto interesse na sociedade atual, se mostra como solução para as comunidades rurais, e estímulo ao consumo energético não agressivo ao meio ambiente, evitando o uso de recursos fósseis

que são largamente poluentes. Nesse sentido, a elaboração de um projeto de energia solar fotovoltaica para atender as famílias da comunidade rural de Santo Antônio das Varejas retrata a importância deste trabalho.

1.2 – Justificativa

Nas últimas décadas, o desenvolvimento do setor industrial mundial, aliado ao aumento da utilização de equipamentos elétricos nas atividades humanas, fez com que a demanda de energia elétrica aumentasse, o que nem sempre foi acompanhado por maiores investimentos na geração de energia. Desta maneira, surgem diversos problemas no setor energético.

A crise energética de repercussão mundial imposta pelos países árabes em 1973, causada pela sobrevalorização do petróleo, somada à luta mundial em defesa do planeta, aceleraram o processo de busca de fontes alternativas de energia, que passa a ser um desafio e uma necessidade ambiental.

A demanda de energia elétrica está associada ao desenvolvimento socioeconômico. O problema da falta de fornecimento para as comunidades rurais e mais afastadas nem sempre é resolvido. Além da burocracia dos órgãos públicos tornarem o processo de solução lento, ainda existe o desinteresse das empresas em resolver a questão, pois nem sempre a universalização da oferta de eletricidade é rentável economicamente. Contudo, o não fornecimento de energia elétrica, sobretudo nas regiões mais pobres do país, acima de tudo, é um mal social que se destaca com relevância e constitui um problema a ser resolvido por toda sociedade.

Assim, a ampliação da capacidade de geração e distribuição de energia de um modo não poluente, para atender a essa parcela prejudicada, tornam-se a justificativa desse projeto.

1.3 – Objetivos

Este estudo visa desenvolver o projeto de um sistema fotovoltaico para atender a demanda de energia elétrica da comunidade rural de Santo Antônio das Varejas, no município de Rio Preto – MG. O desafio será dimensionar um sistema capaz de atender não só as residências, mas também permitir o desenvolvimento econômico do vilarejo, com a instalação de um tanque refrigerador de leite.

Como objetivos específicos têm-se:

- Propor uma alternativa à simples expansão da rede para comunidades afastadas dos centros urbanos, no sentido de promover a geração distribuída;
- Estimar a radiação solar na comunidade de Santo Antônio, uma vez que esta não se encontra disponível;
- Projetar o sistema fotovoltaico para que seja conectado à rede convencional de eletricidade, a fim de que torne possível a comercialização do excedente da energia que for gerada na Usina Solar de Santo Antônio.

1.4 – Organização dos Capítulos

O Capítulo 2 é uma descrição da cidade de Rio Preto, assim como do vilarejo de Santo Antônio das Varejas, revelando seus aspectos sociais, culturais e ambientais. Além disso, neste capítulo, é lançado o problema da falta de energia na vida econômica da comunidade.

O Capítulo 3 é uma breve revisão da literatura disponível sobre a energia solar fotovoltaica, a fim de apresentar os principais conceitos que a envolvem, bem como sua aplicação na prática.

O Capítulo 4 consiste do dimensionamento da Usina Solar de Santo Antônio: estimativa de carga e radiação solar; dimensionamento do banco de baterias e dos módulos fotovoltaicos; escolha dos controladores de carga e dos inversores; projeto dos sistemas autônomos, isolados da rede.

Por fim, são apresentadas as conclusões deste trabalho.

Capítulo 2 – A Cidade de Rio Preto e a Comunidade de Santo Antônio das Varejas

2.1 – A Cidade de Rio Preto



Figura 2.1 – Imagens da cidade de Rio Preto: (a) Rua Nilo Peçanha, com a Matriz de Nosso Senhor dos Passos à esquerda e a Praça Barão de Santa Clara à direita; (b) Câmara Municipal de Rio Preto; (c) Paredão Davi Morethson Campista, no centro da cidade; (d) Vista da Matriz e da Praça ao entardecer.

A Figura 2.1 mostra imagens da cidade de Rio Preto. O município está situado no sudoeste da Zona da Mata Mineira, na microrregião de Juiz de Fora. As coordenadas geográficas da sede municipal são $22^{\circ}05'20''\text{S}$ e $43^{\circ}49'34''\text{W}$. Distante aproximadamente 73 km da cidade de Juiz de Fora, tem localização privilegiada em relação às cidades de Belo Horizonte e do Rio de Janeiro. A Figura 2.2 mostra um mapa de Rio Preto e seu entorno.

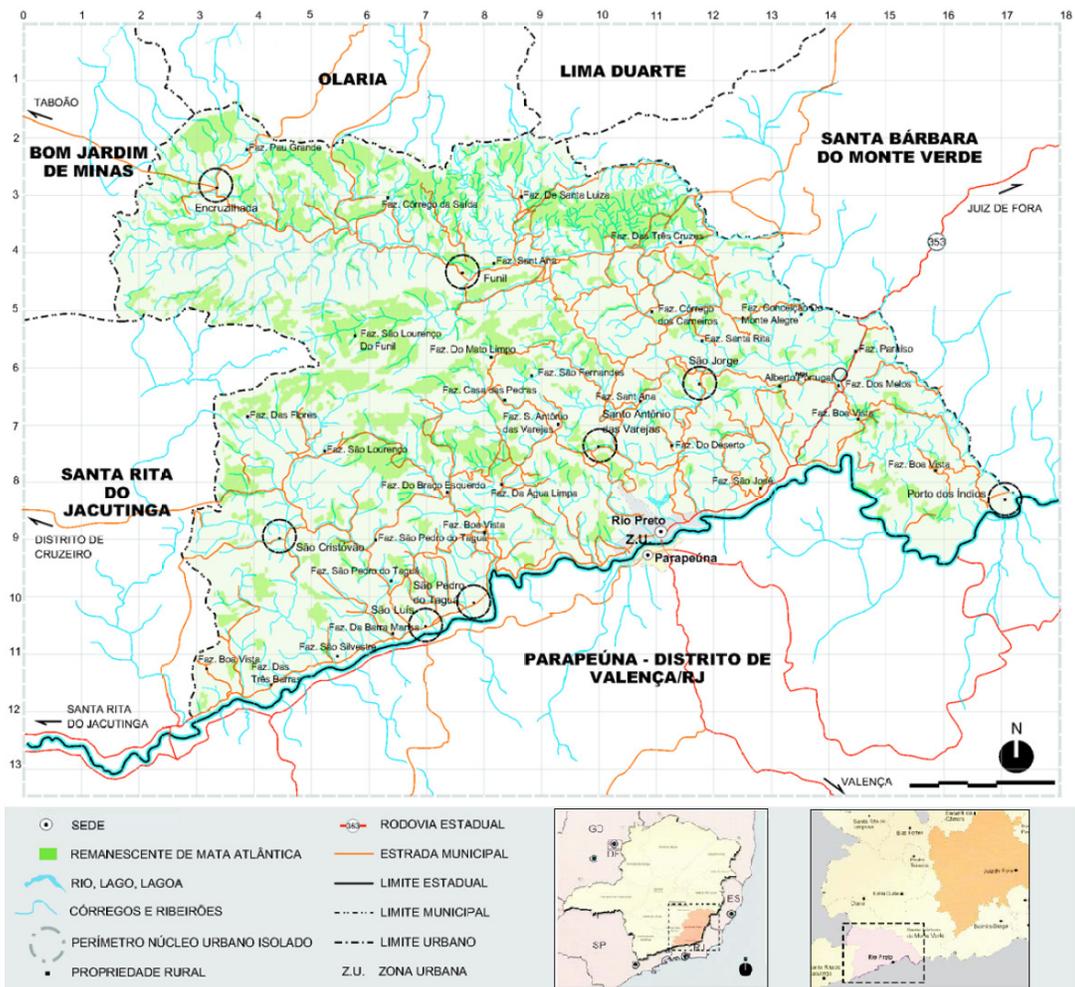


Figura 2.2 – Organização Físico Político Territorial do município de Rio Preto [2].

O Rio Preto, que nasce na Serra da Mantiqueira em Itatiaia – RJ e corre ao longo do município, serve como marcação da divisa entre os estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro. Assim, a cidade de Rio Preto tem como limites os municípios mineiros de Santa Rita do Jacutinga, Bom Jardim de Minas, Olaria, Lima Duarte e Santa Bárbara do Monte Verde, além do município fluminense de Valença. O acesso a Rio Preto se dá por Valença ou Juiz de Fora, pelas rodovias estaduais RJ-147 e MG-353, respectivamente.

A área do município de Rio Preto é de 348,1 km². Sua população é de 5292 habitantes, segundo o CENSO 2010 [3].

Seu clima é classificado como tropical de altitude, mesotérmica, e possui duas estações bem definidas: verão chuvoso e inverno seco. A temperatura máxima anual chega a 32° e a mínima a 14°. O índice pluviométrico é de 716,4 mm/ano.

O município tem oito distritos na zona rural, classificados pelo IBGE como áreas urbanas isoladas – AUI; São eles: Encruzilhada, Funil, Porto dos Índios, Santo Antônio das Varejas, São Cristóvão, São Pedro do Taguá, São Luís e São Jorge. Nesses vilarejos encontram-se atividades agropecuárias juntamente com atividades ligadas ao turismo, onde se destaca o Funil, que em função de sua formação geológica, formam-se grutas, cachoeiras e picos. A capela de Nossa Senhora da Glória, na entrada da gruta no Funil, é vista na Figura 2.3.



Figura 2.3 – Vista no interior da capela de Nossa Senhora da Glória, entrada da Gruta da Água Santa, no Funil.

A cidade é atendida por um sistema de transporte de ônibus, quase que de hora em hora para o centro de Valença – RJ, pela rodovia RJ-147, e diariamente para Juiz de Fora – MG, pela rodovia MG-353, ambas totalmente asfaltadas. Existe ainda uma linha de ônibus diária para a cidade vizinha de Santa Rita do Jacutinga, por uma estrada sem pavimentação. Além do transporte interestadual e intermunicipal, o transporte para as

AUI se dá também por meio de linhas de ônibus. Outra possibilidade de circulação na cidade de Rio Preto é por meio de táxis.

Em relação à infraestrutura, a sede é parcialmente abastecida com rede de água tratada. O restante da sede do município e nas AUI, esse abastecimento é feito através de fontes naturais (minas, nascentes e cachoeiras), que segundo [2] é feito “sem qualquer tipo de tratamento ou controle da qualidade da água”. Já com relação à energia elétrica ela chega a quase toda a população municipal. No que se refere à iluminação pública, ainda segundo [2], “foi constatada a insuficiência ou mesmo a ausência de manutenção em certas localidades”.

A principal atividade econômica do município é a agropecuária, ainda que a maior parte da receita de Rio Preto seja proveniente do Fundo de Participação de Municípios – FMP. Ela se caracteriza pela presença de pequenos produtores, sendo que a Empresa Mineira de Agropecuária – EMATER, que assiste à localidade, estima que 90% deles se dediquem a criação de gado leiteiro. A produção de leite da cidade é em torno de 35 a 40 mil litros por dia [2]. A agricultura, desestimulada pela topografia montanhosa, se destina principalmente ao comércio local, quando não é apenas para subsistência.

Outra atividade econômica desenvolvida em Rio Preto é o turismo. A cidade dispõe de uma boa rede hoteleira. Nela se realiza o turismo histórico, nas suas dezenas de igrejas, fazendas dos barões do café e o turismo ecológico, ou ecoturismo, pois o município encontra-se inserido no Bioma da Mata Atlântica. Além da diversidade da fauna e da flora, existem várias cachoeiras e grutas, grandes atrações da região.

A cidade de Rio Preto tem ainda uma forte vocação para festa e eventos. Seu carnaval é conhecido como o “maior da região”. Além dele, todo o ano se realiza a tradicional Exposição Agropecuária de Rio Preto, já na sua trigésima sexta edição. Nos

meses do inverno acontecem as festas nas comunidades rurais, com destaque para São Pedro do Taguá e Santo Antônio das Varejas.

Sua cultura é variada e tem a participação da administração municipal nas aulas de balé e música para crianças e jovens. Existem ainda na cidade outras manifestações culturais como a Corporação Musical Lima Santos, diversas folias de reis e oficinas de arte e artesanato. Na cidade de Rio Preto se localiza a Biblioteca e Museu Dr. Alípio de Araújo Silva.

Toda a educação básica é ofertada pelas redes de ensino estadual e municipal, além de se servir das escolas de Parapeúna. Em algumas comunidades rurais existem escolas que contemplam os cinco primeiros anos do ensino fundamental. Com relação ao ensino superior, os riopretanos saem para Valença – RJ e Juiz de Fora – MG, principalmente.

Na área da saúde a cidade é servida pela Santa Casa de Misericórdia, onde são realizadas até pequenas cirurgias. Existe ainda o Programa de Saúde da Família – PSF e o Posto de Saúde do município, que tem encaminhamento diário nos casos de exames específicos, consultas especiais e cirurgias por meio da Agência de Cooperação Intermunicipal em Saúde Pé da Serra – ACISPES, em Juiz de Fora. Rio Preto conta também com um centro de Fisioterapia.

2.2 – A Comunidade de Santo Antônio das Varejas

A comunidade rural de Santo Antônio das Varejas fica muito próxima do centro da cidade de Rio Preto, distante cinco quilômetros, e se localiza numa área de proteção ambiental. A estrada que liga a sede municipal ao vilarejo de Santo Antônio é a mesma que liga ao Funil, o principal centro turístico da região, servido por várias

pousadas e sítios. O vilarejo mesmo possui somente uma única pousada, a Pousada de Selva Mato Limpo.

O dia 13 de junho é o dia de Santo Antônio. Anualmente, neste dia ou nos dias próximos dele, ocorre no vilarejo uma tradicional festa junina.

Como visto, esta localidade rural é uma área urbana isolada, AUI, e dispõe de comércio, um campo de futebol, uma escola - do primeiro ao quinto ano do ensino fundamental - e a Igreja de Santo Antônio das Varejas, construída no século XIX, com casas em torno da mesma. Segundo [2], a comunidade possui 100 moradores. A Figura 2.4 mostra o núcleo urbano do vilarejo de Santo Antônio das Varejas.



Figura 2.4 – Núcleo urbano do vilarejo de Santo Antônio das Varejas.

Apesar de no Brasil existir a decisão política de se levar luz elétrica para todos os seus habitantes, ainda são encontradas muitas dificuldades, principalmente nas comunidades mais afastadas e mais dispersas. No caso de Santo Antônio, o vilarejo é atendido pela rede da CEMIG há algum tempo, mas nem todos os seus habitantes são contemplados com a eletricidade. Os moradores mais recentes e os sítios mais afastados são os que ainda carecem de energia elétrica.

2.3 – Alternativas para o Fornecimento de Energia em Santo Antônio

Para resolver o problema do fornecimento de energia elétrica na comunidade de Santo Antônio existem duas alternativas: expandir a rede já existente ou levar a geração para perto da carga. Esta última denomina-se “Sistema de Geração Distribuída”, que de acordo com [4] é definida como:

“Geração Distribuída é a denominação genérica de um tipo de geração de energia elétrica que se diferencia da realizada pela geração centralizada por ocorrer em locais em que não seria instalada uma usina geradora convencional, contribuindo para aumentar a distribuição geográfica da geração de energia elétrica em determinada região”.

A expansão da rede vem sendo amplamente praticada em todo o país, através do programa federal “Luz para Todos”. Inclusive, na região de Santo Antônio das Varejas, já existem instalações feitas por esse programa, visando justamente solucionar o problema da falta de energia elétrica no vilarejo. Contudo, como em outras tantas comunidades rurais, além da distância, existe ainda a questão da dispersão das unidades residenciais. Isso faz com que, quando apareçam essas soluções de universalização da oferta de energia, elas nem sempre cheguem a todos os interessados. Além disso, a demora em ser atendido pelo programa vem sendo um dos maiores motivos de queixa, enfraquecendo a opção pela expansão da rede.

Outro fator que favorece a geração distribuída é a qualidade e a confiabilidade da energia, uma vez que os condutores que levam a eletricidade às comunidades rurais percorrendo enormes distâncias estão sujeitos a intempéries e imprevistos que podem ocasionar interrupções no fornecimento de energia, breves ou demoradas. Desta forma,

eles necessitam de constante manutenção e reparo, às vezes demandando um tempo que pode prejudicar as atividades cotidianas da comunidade atendida.

Desta forma, se torna oportuna uma solução com geração na própria comunidade de Santo Antônio, pois além de encurtar o sistema de distribuição, deixando-o mais confiável, se torna mais fácil e mais simples a expansão, uma vez que a carga está mais próxima da geração. Pretende-se utilizar fontes renováveis de energia, pois a cada ano aumenta a preocupação global com o meio ambiente. Ainda mais que o vilarejo fica cercado de áreas de proteção ambiental, como mostra a Figura 2.5. Além disso, as fontes alternativas de energia como solar, eólica, biomassa ou PCHs, têm seu uso incentivado pelo governo [5].

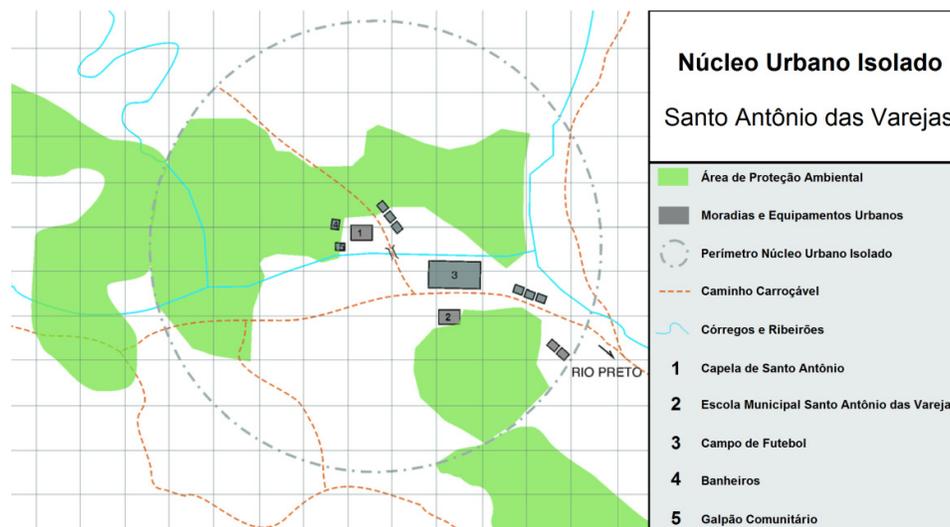
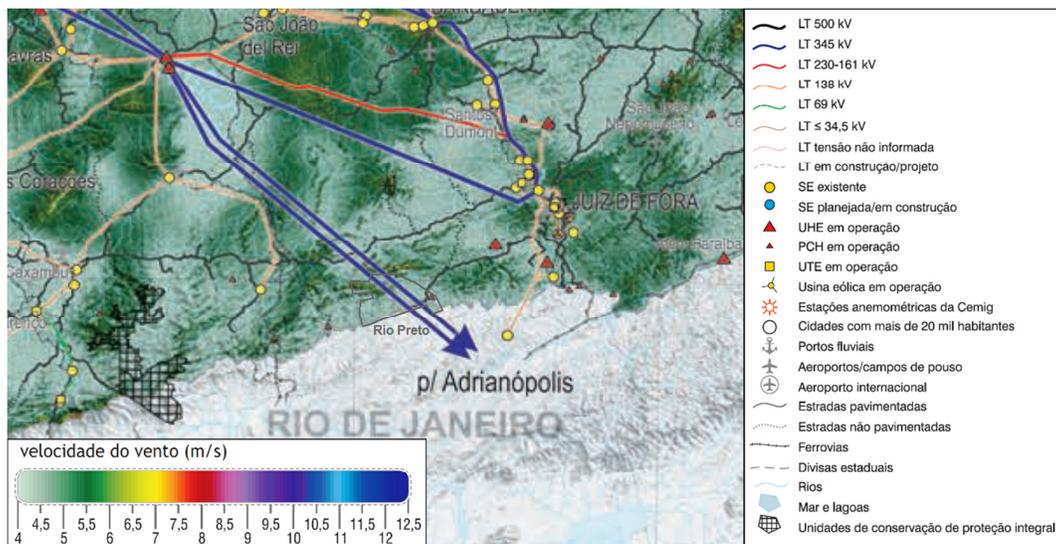


Figura 2.5 – Áreas de proteção ambiental no Núcleo Urbano Isolado de Santo Antônio das Varejas [2].

Seguindo o conceito de utilização de fontes alternativas renováveis e limpas, em meio a uma área de proteção ambiental, a solução deve poder ser realizada de forma a não interferir no ecossistema local, bem como até contribuir pela sua manutenção. Desta maneira, várias das propostas analisadas foram descartadas. Primeiramente, foram deixadas de fora as opções relacionadas com a vegetação presente, ou que suscitasse empreendimentos futuros com incursão nestas áreas: carvão, lenha plantada, lenha catada, restos vegetais da mata, etc. Outra hipótese descartada foi o aproveitamento

hídrico, por todos os transtornos acarretados pela movimentação das obras, quase sempre degradantes ao meio ambiente. Além do que, isso só se justificaria, caso houvesse um potencial de aproveitamento, não só, para atender a esta vila, como também uma parte considerável da cidade. Nesta mesma situação, também se enquadra a energia eólica. Apesar de ser uma alternativa limpa, o vento, Rio Preto possui uma velocidade média de vento muito baixa, de 4 m/s a 50 m de altura. No atlas da Figura 2.6 se pode verificar que essa velocidade média é uma das mais baixas da região, que apresenta médias de 5,5 m/s em Juiz de Fora e 6,5 m/s ao sul de São João del Rei.



Não dá nem para cogitar a possibilidade de implantação de grandes turbinas, com maiores alturas em Santo Antônio, pois não haveria mais razão da existência do vilarejo, que seria muito violentado por toda a movimentação de obras, transporte de equipamentos e máquinas, além da própria instalação. E ainda teria o desconforto do ruído emitido pelos aerogeradores, que deveriam ficar a certa distância da comunidade.

A análise aponta para soluções envolvendo apenas o aproveitamento fotovoltaico e o de rejeitos sólidos e líquidos das atividades humanas e rurais desenvolvidas no local. As duas formas são limpas, renováveis, não causam interferências no meio ambiente e nem trazem transtornos para o vilarejo. Além disso,

ambas estão enquadradas na forma definida pela ANEEL como microgeração distribuída incentivada [6].

A utilização de um biodigestor em Santo Antônio, que faça o aproveitamento de esterco, esgoto humano e outros resíduos vegetais, traria benefícios para a comunidade, independentemente da geração elétrica. Ele pode ser usado na geração de calor, com o gás sendo empregado tanto para cozimento, quanto para o aquecimento de água. Além disso, o biodigestor ainda é aproveitado na produção de adubo.

O biodigestor até poderia ser usado na geração de energia elétrica. De acordo com [8], um metro cúbico de gás produz 5,5 kWh. Assim, tendo como base o limite de consumo para a tarifa de baixa renda de 220 kWh/mês por habitação, e considerando-se as 18 residências que existem no vilarejo, tem-se um consumo de energia mensal estimado de 3960 kWh para a comunidade. Para suprir essa demanda, seriam necessários 720 m^3 de gás por mês.

Segundo o cálculo apresentado em [8], para 720 m^3 de gás por mês, 24 m^3 de gás por dia, seriam necessárias aproximadamente 72 vacas presas à noite. A quantidade estimada de cabeças de gado existente no vilarejo de Santo Antônio gira em torno deste número. Desta forma, seria possível a utilização de um biodigestor para suprir a demanda energética da comunidade. Entretanto, como a produção de gás é variável em função do clima, o sistema torna-se ainda dependente da rede elétrica convencional. E mais: não atenderia a questão dos moradores distantes do núcleo urbano de Santo Antônio. Sendo assim, o uso de biodigestores não é uma forma confiável e segura para a geração de energia elétrica, sendo melhor seu emprego nas outras aplicações já mencionadas.

Desta forma, o aproveitamento da biomassa na forma proposta coloca o sistema solar fotovoltaico, como única solução para geração de energia elétrica no

vilarejo de Santo Antônio dentro dos conceitos empregados: não interferência das áreas de proteção ambiental, pouca interferência nos costumes do povo do vilarejo, pouco transtorno na execução das obras e instalações, facilidade de manutenção e possibilidade e simplicidade de expansão.

Rio Preto tem uma média anual de aproximadamente $5,2 \text{ kWh/m}^2$ por dia. Na região mais ensolarada da Alemanha, o país com a maior capacidade instalada em energia fotovoltaica, a média é de $3,3 \text{ kWh/m}^2$ por dia [9]. Nesse sentido, o sistema solar fotovoltaico na comunidade de Santo Antônio das Varejas se coloca como uma alternativa viável para a universalização da energia elétrica.

A Figura 2.7 mostra a radiação solar no município de Rio Preto e região.

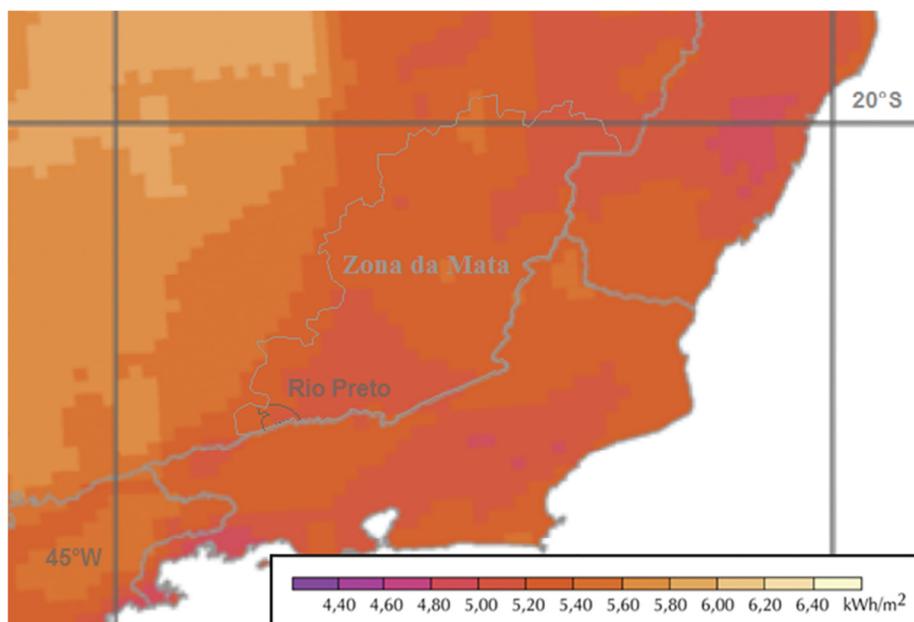


Figura 2.7 – Radiação solar média anual no plano inclinado de Rio Preto e região [9].

Ele possui uma grande vantagem em relação às outras fontes renováveis por sua instalação ser mais simples, pois como não é preciso grandes obras na execução do projeto, reduz seu custo com transporte e mão-de-obra. Além disso, por sua característica modular, ele permite que a expansão da oferta de energia seja mais fácil e rápida, quando ela for necessária.

Portanto, o sistema fotovoltaico de Santo Antônio vai garantir uma maior qualidade de vida a todos os seus moradores, levando luz aos que não têm, e permitindo acesso a uma energia elétrica de qualidade. Além disso, ele proporcionará à comunidade a possibilidade da melhoria de suas atividades econômicas, bem como do desenvolvimento de outras que necessitam de energia elétrica, como por exemplo, a instalação de um tanque refrigerador de leite.

2.4 – A Solução Fotovoltaica

O ponto de partida para a instalação de um sistema fotovoltaico é a escolha do local onde ele será implementado e o levantamento de todas as suas características. O conhecimento deste mesmo local possibilita responder os itens necessários para o desenvolvimento do projeto:

- Avaliação do recurso solar local;
- Orientação e inclinação dos módulos devido a sua localização;
- Observação do local de instalação dos painéis;
- Levantamento dos acessos disponíveis aos equipamentos que serão instalados;
- Seleção dos tipos de módulos apropriados ao local;
- Concepção do sistema e método de instalação;
- Cálculo da produção energética desejada versus potência fotovoltaica a instalar;
- Análise financeira.

O objetivo central deste projeto é fornecer eletricidade a todos os moradores de Santo Antônio, substituindo o suprimento de energia elétrica feito pela CEMIG onde ele existe. Assim, apesar do sistema fotovoltaico proposto para a comunidade ser conectado à rede elétrica, ele deverá contar com um banco de baterias que atenda a demanda quando o painel solar não produzir energia suficiente, seja no período noturno, em dias nublados ou em dias chuvosos. A conexão com a rede servirá para que a energia excedente produzida pelos painéis possa vir a ser comercializada. A rede de distribuição presente na comunidade será aproveitada.

A opção feita por uma única central geradora para Santo Antônio ao invés de individualizada, como nos SIGFIs, se deve basicamente a três fatores:

- Flexibilidade a Consumos Maiores de Energia, pois como se trata de uma comunidade, torna-se possível que os limites calculados de consumo de energia por residência sejam excedidos, diferentemente dos sistemas individuais, onde esses limites são de ordem física, sendo impraticável extrapolá-los;
- Segurança, pois os sistemas individualizados estão mais sujeitos à intervenção de seus proprietários;
- Facilidade para Supervisão e Manutenção, pois há um só sistema num determinado local, e não vários dispersos pela comunidade.

Ainda assim se apresenta o fato de que em comunidades dispersas o problema do acesso à eletricidade não esteja resolvido. Nesse caso, os sistemas fotovoltaicos para essas residências serão individuais. No entanto, pela proximidade da geração, as soluções técnicas para garantir esse acesso são mais simples e requerem menos burocracia.

Como a usina fotovoltaica tem característica modular, se torna mais fácil a expansão do sistema, visto que é só acrescentar novos equipamentos. A manutenção do sistema não necessita da interrupção do fornecimento de energia, e se um aparelho apresentar algum defeito, basta substituí-lo.

Assim, o local escolhido para a instalação da Usina Solar Fotovoltaica de Santo Antônio é uma área de aproximadamente 40.000 m², na estrada que liga Rio Preto a AUI Funil. O terreno fica distante da igreja de Santo Antônio, centro da comunidade, cerca de 500 m somente. A área destinada à usina e o vilarejo de Santo Antônio são vistos na Figura 2.8.



Figura 2.8 – Localização da Usina Solar e o vilarejo Santo Antônio das Varejas.

O terreno é um dos primeiros lugares a serem iluminados pelo Sol durante o dia e um dos últimos lugares a escurecer. Essa afirmação pode ser vista a partir das imagens da Figura 2.9, geradas com o programa gratuito *Google Earth*, versão 5.2.1.1588, utilizando a opção “mostrar a luz do Sol na paisagem”.



(a)



(b)

Figura 2.9 – Vista da iluminação do Sol em Santo Antônio: (a) Ao amanhecer - 07:30; (b) Ao anoitecer – 18:30.

Capítulo 3 – Aspectos Teóricos da Energia Solar Fotovoltaica

3.1 – Breve Histórico

Entende-se como energia solar fotovoltaica a conversão direta da luz do Sol em eletricidade.

O efeito fotovoltaico foi descoberto por Edmond Becquerel, em 1839; consiste em converter diretamente a luz do Sol em eletricidade, em uma “célula fotovoltaica”, unidade fundamental nesse processo de conversão. Em 1876, apareceu a primeira estrutura fotovoltaica; só depois do desenvolvimento da microeletrônica, iniciou-se a produção a nível industrial, isto em meados dos anos cinquenta.

Primeiramente, o interesse pelo desenvolvimento de sistemas fotovoltaicos ficou por conta de empresas do setor de telecomunicações, na busca de fontes de energia em localidades isoladas. Outro fator que impulsionou a pesquisa da energia solar foi a corrida espacial: a célula fotovoltaica sempre foi a maneira mais eficiente e prática para a obtenção de energia elétrica no espaço. A crise energética de 1973 suscitou a necessidade de desenvolver novas aplicações de sistemas fotovoltaicos.

Nos dias atuais, o grande desafio é baixar o custo de fabricação das células fotovoltaicas, contudo, sem perder em eficiência. Uma maneira de buscar resolver este desafio é divulgando os benefícios da energia solar fotovoltaica.

3.2 – A Energia Solar

O Sol é uma estrela de mais de cinco bilhões de anos, e calcula-se que ele existirá por outros seis bilhões. Em um ano, ele lança sobre a Terra dez mil vezes mais energia do que consumimos. Por isso, o Sol pode ser a resposta para a questão do abastecimento energético no futuro, desde que a sua luz seja sabidamente aproveitada.

Indiretamente, é o Sol quem provê a energia necessária para as fontes convencionais. Por exemplo: ele é o responsável pelo ciclo das águas, fundamental na geração de uma hidrelétrica; é através dele que circulam os ventos na geração eólica; é a sua energia de que a matéria orgânica se utiliza para fazer fotossíntese e pode se tornar um biocombustível; e é essa mesma matéria orgânica, que com o passar de milhões de anos, transforma-se nos combustíveis fósseis.

Além disso, ainda podemos aproveitar a energia vinda diretamente do Sol. Segundo [11], as principais formas para esse aproveitamento são:

- A arquitetura bioclimática, que é o estudo de fatores locais (como a iluminação, a temperatura etc.) onde uma construção será erguida e a adaptação da arquitetura desta construção a esses fatores;
- A energia solar fototérmica, que consiste na absorção de calor, a partir da radiação solar, para alguma aplicabilidade (como os aquecedores de ar e água);
- A energia solar fotovoltaica, que é a conversão direta da luz do Sol em eletricidade.

O conhecimento do recurso solar é de fundamental importância devido a sua variabilidade temporal e espacial. Conhecer a radiação emitida pelo sol é também uma condição obrigatória na instalação de um sistema solar fotovoltaico. O Brasil, no

contexto mundial, é um dos países de maior incidência da radiação solar, principalmente no nordeste.

A energia solar não necessita ser extraída, refinada e transportada para o local da geração. Ela também não emite ruídos e gases poluentes. Sua utilização de forma distribuída apresenta as vantagens de redução de gastos com o sistema de transmissão e distribuição, além de permitir o desenvolvimento social e econômico para a localidade onde há o seu aproveitamento.

3.3 – Sistemas Fotovoltaicos

Sistema fotovoltaico é um conjunto de equipamentos que permite o aproveitamento da energia solar, fazendo a conversão da mesma em eletricidade. Basicamente, é composto pelos módulos fotovoltaicos, responsáveis pela conversão da luz do Sol em eletricidade, mais uma gama de equipamentos complementares, incluindo baterias, controladores de carga e inversores. Esses componentes variam de acordo com a aplicação do sistema fotovoltaico, onde mais equipamentos podem ser incluídos ou retirados. Quando a carga necessita de corrente alternada, é colocado um inversor para transformar a corrente contínua em corrente alternada. Além disso, os sistemas fotovoltaicos podem ou não ter armazenamento de energia. A combinação desses elementos formam muitas configurações possíveis para os sistemas fotovoltaicos. A Figura 3.1 mostra o esquema de um SIGFI, com os principais equipamentos que podem ser utilizados em um sistema fotovoltaico.

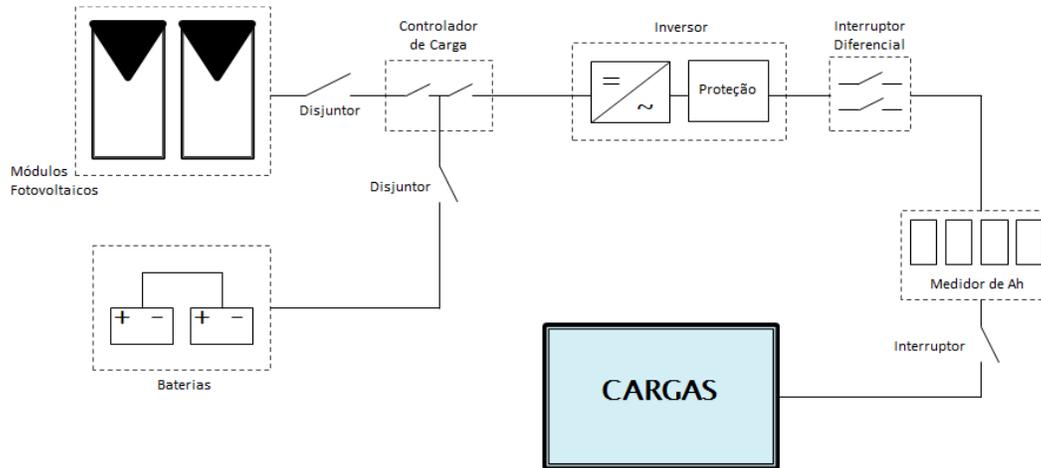


Figura 3.1 – Esquema do sistema fotovoltaico de um SIGFI.

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados como isolados, híbridos ou conectados à rede [11]. Sistemas isolados, ou autônomos, são aqueles em que não há conexão com a rede, e sim, a necessidade de armazenamento de energia. Os SIGFIs são exemplos de sistemas fotovoltaicos autônomos.

Em sistemas híbridos, além da geração de energia a partir do arranjo fotovoltaico, há também a presença de outras fontes de energia, como por exemplo, geradores a diesel, turbinas eólicas etc. A Figura 3.2 mostra exemplos de sistemas híbridos.



Figura 3.2 – Exemplos de sistemas híbridos aplicados na iluminação pública.

Sistemas conectados à rede são aqueles em que o arranjo fotovoltaico contribui com sistema elétrico ao qual ele está conectado. Nesses sistemas não é utilizado geralmente o armazenamento de energia, pois toda potência gerada no arranjo é entregue à rede. Em alguns países europeus, nos Estados Unidos e no Japão, já existem instalações deste tipo, onde os governos locais oferecem incentivos para a comercialização e o consumo de energia a partir de sistemas fotovoltaicos. A Figura 3.3 mostra o esquema de um sistema fotovoltaico conectado à rede.

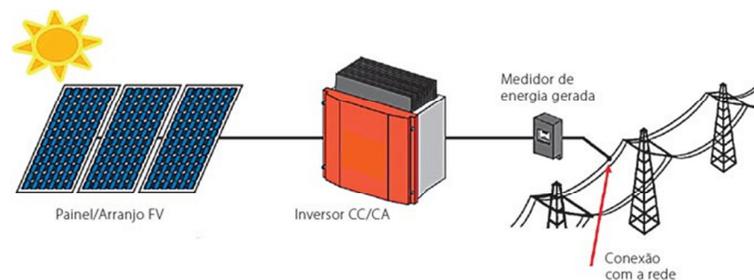


Figura 3.3 – Esquema de um sistema fotovoltaico com conexão a rede elétrica.

3.4 – Módulos Fotovoltaicos

3.4.1 – A Célula Fotovoltaica

A conversão da radiação solar em energia elétrica se dá nos módulos fotovoltaicos, mais precisamente na célula fotovoltaica. A célula é a unidade formadora do módulo. Ela é constituída de um material semicondutor, principalmente o silício. O efeito fotovoltaico se realiza nesses materiais.

Os semicondutores se caracterizam por possuírem banda de valência (que permite a presença de elétrons) e banda de condução (“vazia”, a baixas temperaturas), com uma pequena separação entre essas duas bandas de energia, diferenciando os semicondutores dos isolantes e dos condutores.

A fim de aumentar o número de elétrons livres e o número de “lacunas”, o cristal de Silício passa por um processo denominado dopagem, que consiste em introduzir impurezas nesse cristal.

Quando se adicionam impurezas com cinco elétrons de valência, como o Fósforo, ao cristal de Silício, esses átomos substituirão átomos de Silício. Assim, os quatro elétrons de valência do Fósforo serão compartilhados com os átomos de Silício vizinhos ao Fósforo, fazendo com que um elétron fique livre, gerando um cátion preso à estrutura cristalina, como mostra a Figura 3.4. Forma-se assim uma estrutura chamada de semiconductor do tipo-n.

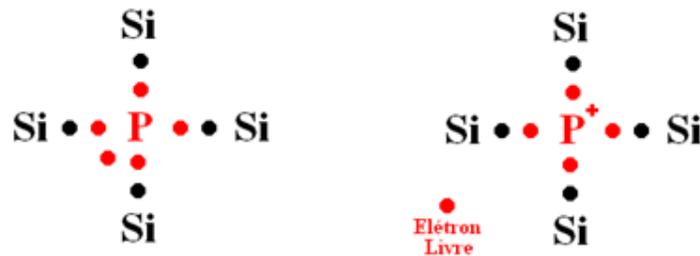


Figura 3.4 – Dopagem do Silício com o Fósforo.

De modo análogo, quando se adicionam impurezas com três elétrons de valência, como o Boro, ao cristal de Silício, esses átomos substituirão átomos de Silício. Assim, os três elétrons de valência do Boro serão compartilhados com átomos de Silício vizinhos ao Boro, deixando uma lacuna, que pode ser preenchida com um elétron de valência de um átomo vizinho, gerando um ânion preso à estrutura cristalina, como mostra a Figura 3.5. Forma-se então uma estrutura que é denominada de semiconductor do tipo-p.

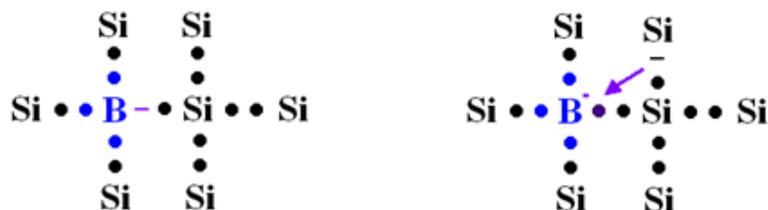


Figura 3.5 – Dopagem do Silício com o Boro.

Unindo, adequadamente, semicondutores do tipo-p e do tipo-n, temos a chamada junção pn. Devido à existência de elétrons livres do lado n e lacunas no lado p, esses elétrons se deslocam para o lado p, preenchendo as lacunas, assim como lacunas se difundem no lado n. Desta forma surge uma região chamada de depleção, onde não se tem mais cargas livres, e sim a formação de campo elétrico nesta região. O aparecimento do campo elétrico cria uma barreira à difusão dos portadores de carga, levando a estrutura a um equilíbrio.

Quando a radiação solar penetra na região de depleção, os fótons transmitem sua energia aos elétrons, que então possuem energia suficiente para atravessar a barreira formada pelo campo elétrico, gerando assim uma corrente elétrica proporcional à intensidade da radiação. Ao captar esses elétrons liberados tem-se uma célula geradora, a célula fotovoltaica.

De acordo com o método de fabricação, as células fotovoltaicas podem ser classificadas em três tipos principais:

- Silício Monocristalino, em que as células são formadas a partir de um único cristal uniformemente orientado, que será depois fatiado. Apesar de ser o tipo de maior eficiência, seu processo de fabricação é o que envolve os maiores custos;
- Silício Policristalino, onde o cristal é formado livremente, sem orientação. A presença de vários cristais reduz sua eficiência. Entretanto, seu custo de fabricação também é reduzido;
- Silício Amorfo, em que sua confecção é feita a partir do depósito de camadas de silício sobre materiais com pouca espessura, daí ele também ser conhecido por filmes finos. Como se usa uma menor quantidade de

silício há uma redução de custo, acompanhada de uma redução de eficiência em relação aos outros tipos de célula.

3.4.2 – Características dos Módulos

Cada célula fornece uma tensão de aproximadamente 0,4 V no ponto de máxima potência, o que para aplicações comuns significa pouca energia. Por esta razão, é fundamental o agrupamento de células solares nos módulos fotovoltaicos. A quantidade de células em um módulo e a forma de como elas são organizadas depende do quanto de tensão ou de corrente é necessário.

As principais características dos módulos fotovoltaicos são:

- Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}), que é a tensão medida entre os terminais de um módulo fotovoltaico, sem a presença de cargas;
- Corrente de Curto-Circuito (I_{sc}), que de modo análogo, é a corrente que passa por um amperímetro conectado aos terminais do módulo;
- Curva Característica $I \times V$, que é a curva do gráfico das medidas de tensão e corrente de um módulo fotovoltaico, quando existe carga conectada em seus terminais. Como as células fotovoltaicas são afetadas com a mudança de temperatura e intensidade luminosa, a curva característica está associada a determinadas condições. A Figura 3.6 mostra curvas características de um módulo da Kyocera, em diferentes condições de temperatura e radiação;
- Ponto de Máxima Potência, que é o ponto na curva $I \times V$ onde a potência fornecida pelo módulo é a máxima. Neste ponto, a tensão é definida como Tensão de Máxima Potência (V_{mp}) e a corrente é definida como Corrente de Máxima Potência (I_{mp}).

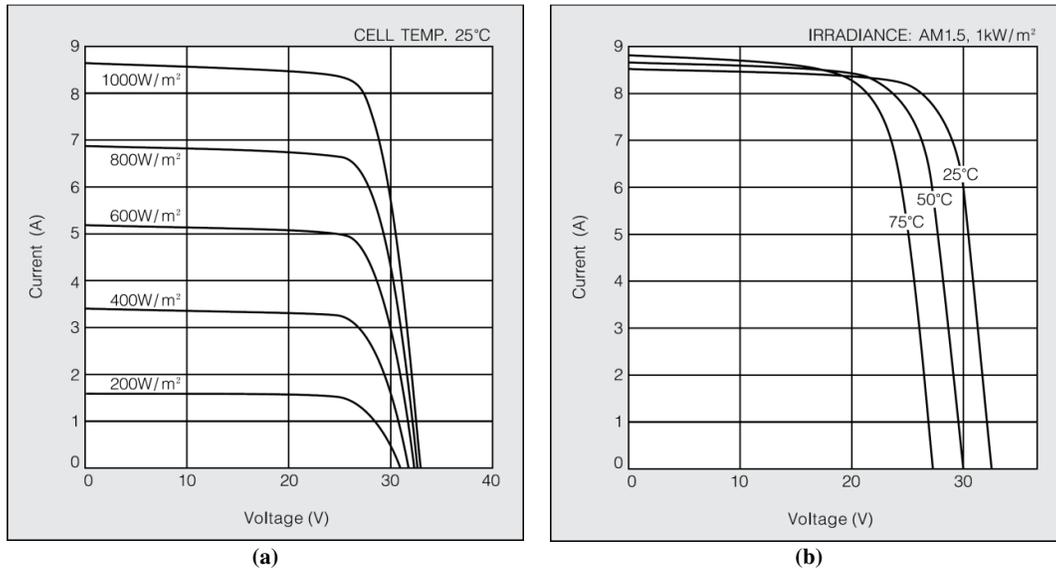


Figura 3.6 – Curvas Características do módulo fotovoltaico KD210GX-LPU da Kyocera: (a) Influência da radiação na curva característica; (b) Influência da temperatura na curva característica.

3.4.3 – Formação de Painéis e Arranjos

Do mesmo modo que as células em um módulo, os módulos também podem se associar em série e/ou em paralelo formando painéis. Se for necessário um aumento na tensão, associam-se módulos em série; se o interesse for o de se obter um aumento de corrente, associam-se módulos em paralelo.

Ao conjunto de painéis dá-se o nome de arranjo fotovoltaico.

3.4.4 – Posicionamento

Um painel fotovoltaico deve ser posicionado corretamente a fim de que ele possa gerar o máximo de energia ao longo do ano.

Quanto à sua orientação, a superfície do painel deve estar voltada para o equador. O território brasileiro está situado predominantemente no hemisfério sul. Como consequência disso, tem-se que o equador fica ao norte na maior parte do país. Quando o Sol está exatamente no norte geográfico, no hemisfério sul, tem-se o meio dia solar.

Tão importante quanto a orientação do painel é a sua inclinação. “A correta inclinação do painel pode determinar um ganho de mais de 25% em períodos de baixa insolação” [12]. De acordo com [11], o painel deve ficar com um ângulo de inclinação igual à latitude do local.

3.5 – Baterias

As baterias são responsáveis pelo armazenamento da energia nos sistemas fotovoltaicos. Elas fornecem energia ao sistema quando os painéis não são capazes de produzir uma quantidade suficiente de energia, sejam em dias nublados ou chuvosos, seja no período da noite. Quando o arranjo fotovoltaico está fornecendo energia suficiente ao sistema, ele recarrega as baterias.

Nos sistemas autônomos, as baterias têm a função de garantir a autonomia do sistema, isto é, no período noturno ou em dias nublados ou chuvosos, onde o painel não é capaz de produzir uma quantidade suficiente de energia, as baterias garantem esse suprimento. Ainda, as baterias também tem a função de estabilizar a tensão e fornecer correntes de partida elevadas.

Em geral, as baterias usadas em sistemas fotovoltaicos são chumbo-ácido ou de níquel-cadmio, mais eficientes, porém de custo muito mais elevado. Assim, as baterias de chumbo-ácido são as mais utilizadas.

As baterias de chumbo-ácido usam dióxido de chumbo (PbO_2) na placa positiva e chumbo metálico (Pb) na placa negativa. Estas placas são imersas em uma solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4). O princípio de funcionamento da bateria e a reação química que descreve o processo de carga e de descarga são mostrados na Figura 3.7.

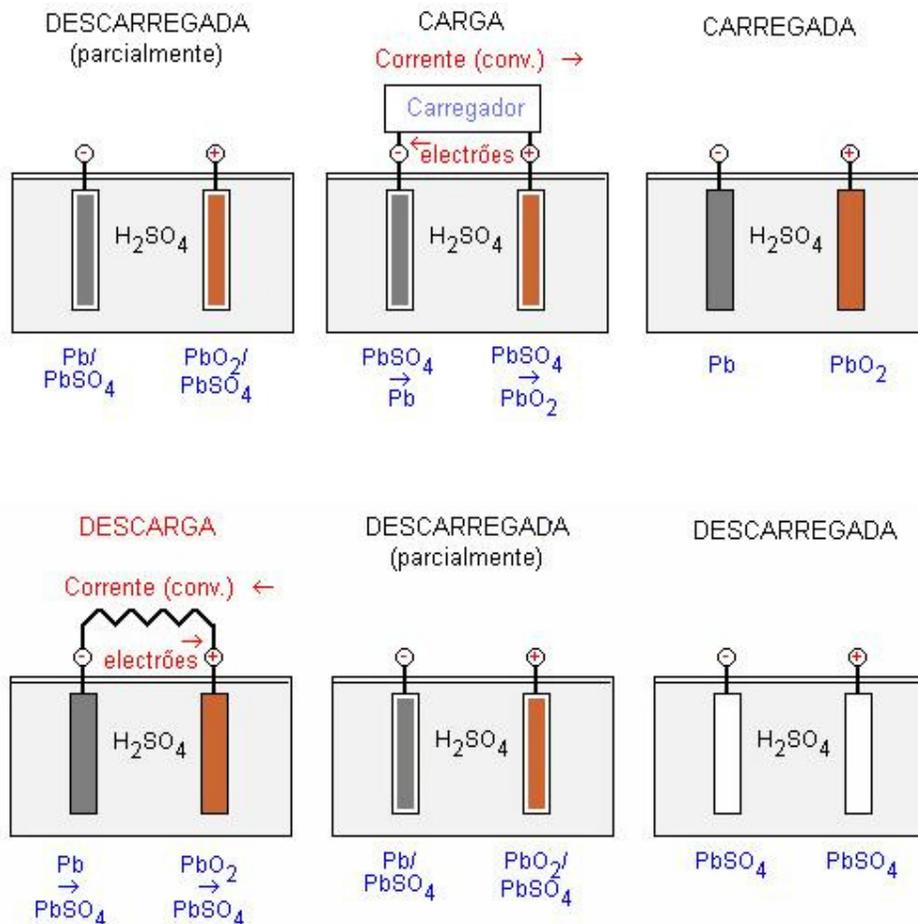


Figura 3.7 – Princípio de funcionamento e reação química que descreve o processo de carga e de descarga de uma bateria de chumbo-ácido.

Quanto ao tipo, as baterias de chumbo-ácido podem ser classificadas em:

- Baterias de Partida ou Automotivas, utilizadas para descargas rápidas, fornecendo altas correntes por alguns segundos;
- Baterias Tracionárias, utilizadas em veículos elétricos, são desenvolvidas para grandes profundidades de descarga;
- Baterias Estacionárias, o tipo usado em sistemas fotovoltaicos, são projetadas para um funcionamento intermitente. Tem a capacidade de suportar vários ciclos de carga/descarga.

Os dois parâmetros mais importantes que caracterizam e especificam as baterias são:

- Capacidade, que é a quantidade de carga elétrica que pode ser retirada da bateria em Ah. Define-se como capacidade nominal a “quantidade de carga extraível de uma bateria (ou elemento) em 20 horas, em uma temperatura média de 25 ° C, e determinada corrente, até que a tensão da bateria caia para 1,8 V/elemento (10,5 V numabateria de 12 V)” [10];
- Profundidade de Descarga, que “indica, em termos percentuais, quanto da capacidade nominal da bateria foi retirada a partir do estado de plena carga” [11].

3.6 – Controladores de Carga

Os controladores de carga são dispositivos que, literalmente, controlam o fluxo de energia dentro de um sistema fotovoltaico. Eles trabalham a fim de que o sistema opere em máxima potência. Também evitam que as baterias sofram cargas e descargas excessivas.

Existem vários tipos de controladores de carga. Eles diferem quanto à grandeza de controle (carga na bateria e tensão são as mais utilizadas) e quanto à forma com que eles desconectam um ou mais painéis fotovoltaicos, shunt ou série.

O controlador shunt desvia a corrente fornecida pelos painéis por um dispositivo paralelo à bateria, quando ela está em plena carga. Já o controlador série abre a conexão dos painéis quando a bateria está em plena carga. A Figura 3.8 mostra o esquema dos dois tipos de controladores.

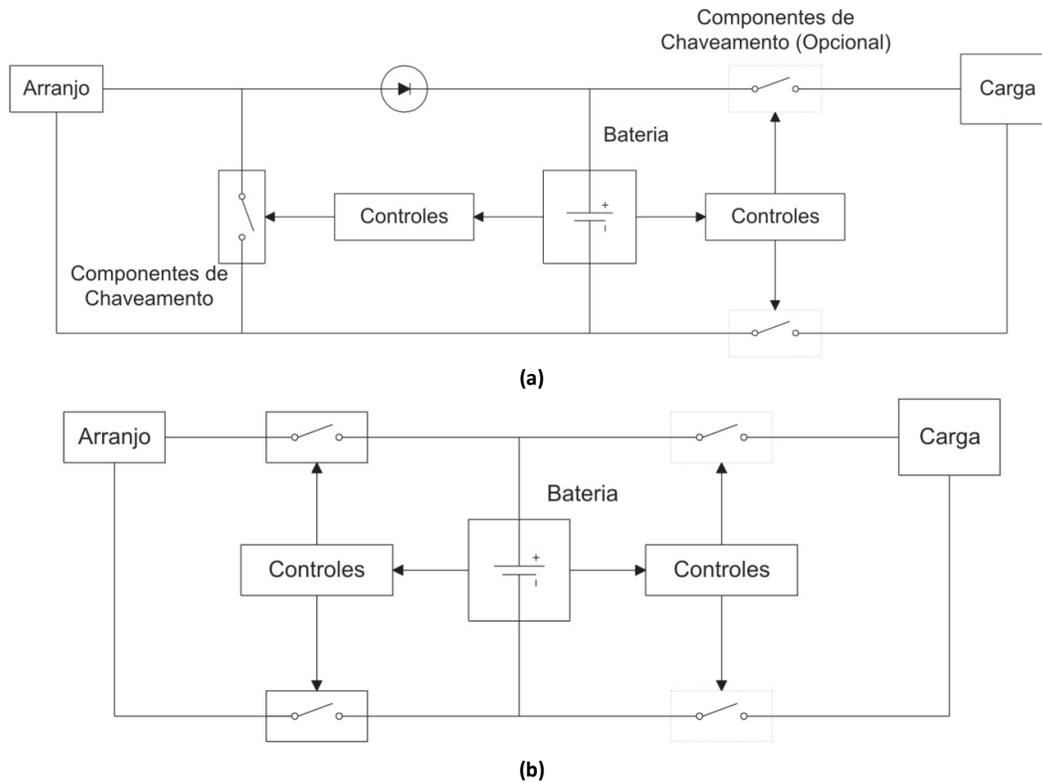


Figura 3.8 – Configuração do controlador quanto à forma de desconexão do arranjo: (a) Controlador Shunt com LVD opcional; (b) Controlador Série com LVD opcional.

As principais características dos controladores de carga são:

- Set Points, que são os valores que determinam a operação dos controladores;
- Proteção Contra Corrente Reversa, que é um mecanismo que impede que haja fluxo de corrente do banco de baterias para os painéis fotovoltaicos;
- Desconexão da Carga (LVD), que é um dispositivo que desconecta a carga para que a bateria não sofra um descarregamento excessivo;
- Alarmes e Indicações visuais.

3.6.1 – Seguidores do Ponto de Máxima Potência (MPPT)

Como foi observado no Item 3.4 deste Capítulo, um painel fotovoltaico é afetado diretamente por variações de radiação e de temperatura. É sabido que esses parâmetros têm diferentes valores ao longo de um dia, resultando em várias curvas características $I \times V$ nesse período. Por isso, durante o dia, o ponto de máxima potência se deslocará. Por esta razão, os sistemas fotovoltaicos se utilizam de um mecanismo de “procura” a esse ponto.

Para que o rastreamento do ponto de máxima potência se dê é necessário um dispositivo chamado de MPPT (*Maximum Power Point Tracker*). Esse dispositivo pode estar presente no controlador de carga ou no inversor. Contudo, “o seguidor do ponto de máxima potência” é bastante sofisticado. Por isso, o uso do MPPT só é viável em grandes projetos que possuam sistemas de controle sofisticados, devendo ser analisada a sua relação custo-benefício [11].

3.7 – Inversores

O inversor, também conhecido como conversor CC/CA, é o elemento que faz a ligação entre o sistema em corrente contínua (CC) com a rede e/ou a carga em corrente alternada (CA). Quando ligado à rede, sua função também é de ajustar seu sinal de saída com a frequência e o nível de tensão da rede na qual ele está conectado.

Em sistemas fotovoltaicos autônomos, não conectados à rede, os inversores permitem a utilização de cargas CA. Eles podem ser classificados quanto a sua forma de onda em inversores de onda quadrada, inversores de onda senoidal modificada e

inversores de onda senoidal pura. Os três tipos de inversores, classificados quanto a forma de onda da saída são mostradas na Figura 3.9.

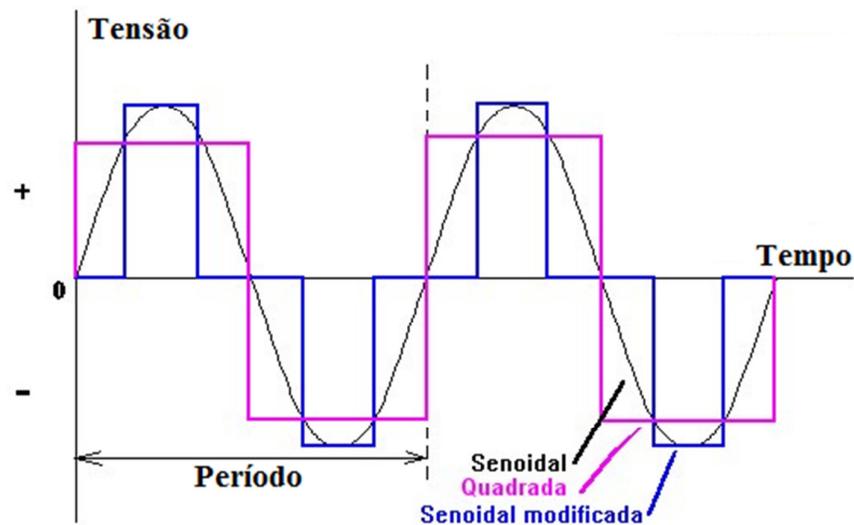


Figura 3.9 – Formas de onda da saída dos inversores de onda quadrada, senoidal modificada e senoidal pura.

Os inversores de onda quadrada são mais baratos, mas a saída apresenta uma grande quantidade de harmônicos. Esses harmônicos geram interferências em alguns aparelhos e, por isso, esse tipo de inversor não é usado em motores. Eles possuem baixo rendimento.

Segundo [12], os inversores de onda senoidal modificada apresentam a melhor relação custo-benefício. Podem ser usados em quase todos os aparelhos, a exceção dos mais sofisticados. Eles possuem rendimentos em torno de 90%.

Por fim, os inversores de onda senoidal pura são mais caros. Tem na tensão de saída uma senoide com baixa distorção harmônica, semelhante à tensão na rede. Geralmente, apresentam os maiores rendimentos.

Inversores conectados a rede, chamados de “Grid-Tie”, necessitam de se adequar às especificações da rede na qual eles serão conectados. Por isso, eles se diferenciam dos inversores autônomos. De acordo com [13], suas principais funções são:

- Conversão CC/CA, atendendo aos requisitos técnicos e de segurança da rede a qual será conectado;
- Rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT);
- Proteção, tanto no lado AC, quanto no lado DC;
- Registo de dados operacionais e sinalização.

Capítulo 4 – Dimensionamento da Usina Solar de Santo Antônio das Varejas

4.1 – Estimativa da Carga

Como visto no Capítulo 2, a comunidade de Santo Antônio das Varejas possui cerca de 100 moradores. Esses moradores estão distribuídos em 18 casas, sendo 12 na comunidade e seis casas mais afastadas. O projeto será um sistema fotovoltaico coletivo, pensado para atender todas as residências da comunidade, além da igreja, do galpão e da escola. Somente as casas que não estão no núcleo urbano e não possuem eletricidade terão sistemas individuais.

Quase todos os moradores de Santo Antônio se enquadram na tarifa de baixa renda. Boa parte das casas fica sem moradores ao longo do ano. Assim, como não foi feito uma medição no consumo das residências, considerou-se que elas têm o consumo máximo permitido pela tarifa de baixa renda, 220 kWh por mês. Desta forma, os consumidores que eventualmente ultrapassam essa medida serão compensados pelas casas de veraneio. O consumo da igreja, da escola e do galpão também foi considerado de 220 kWh por mês. Essa estimativa de consumo mensal de 220 kWh supera bastante a maior classificação de disponibilidade mensal de energia que existe nos SIGFIs, que é de 80 kWh.

Não será considerado aquecimento de água na carga elétrica estimada, que normalmente já é feito através de serpentinas nos fogões de lenha. E ainda que esses venham a ser extintos por alguma ordem social ou de governo, foi mostrado aqui a

possibilidade do uso da biomassa para esse fim. Além disso, há que se orientar também o uso de aquecedores de água solares.

O projeto ainda deve fornecer energia para um tanque de refrigeração de leite. O modelo escolhido foi o HCM018 DANFOSS quatro ordenhas de 1,5 hp, da Sulinox, com capacidade de 1000 litros [A1]. O fabricante estima um consumo de energia de 1,5 kWh por hora, ou seja, o consumo diário desse tanque é de aproximadamente 36 kWh.

Assim, o consumo diário de energia elétrica para toda a comunidade é dado pela seguinte equação:

$$E_{SA} = \frac{n_{casas} \times E_{cm}}{n_{dias}} + E_{tanque} = \frac{15 \times 220}{30} + 36 = 146,0 \text{ kWh}$$

Onde n_{casas} é o número de casas (12 mais a igreja, o galpão e a escola), E_{cm} é o consumo mensal de energia elétrica por casa, n_{dias} é o número de dias de um mês e E_{tanque} é o consumo diário de energia elétrica do tanque de refrigeração de leite.

4.2 – Determinação da Radiação Solar

Os dados de radiação solar utilizados foram obtidos no site do CRESESB [14], através do programa SunData, onde se encontram disponíveis gratuitamente. Usando-se as coordenadas da comunidade rural de Santo Antônio das Varejas (22°03'S e 43°50'W) são fornecidos os dados de radiação mensal para as três cidades mais próximas: Vassouras (distante 43 km), Pinheiral (distante 54 km) e Juiz de Fora (distante 59 km). A localização dessas cidades, assim como a Usina Solar de Santo Antônio, é vista na Figura 4.1. Dessas três cidades, foi tomada a radiação com inclinação de 22°, ou seja, igual ao ângulo da latitude. Tem-se na Tabela 4.1 os dados de radiação diária média mensal delas.

Tabela 4.1 – Dados de radiação diária média mensal em kWh/m²dia das cidades mais próximas a Santo Antônio.

Cidade	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Vassouras	43,1	5,12	5,41	5,28	4,62	4,69	4,23
Pinheiral	54,2	4,93	4,91	5,06	4,36	4,38	4,23
Juiz de Fora	59,2	4,54	4,81	4,53	4,08	4,23	3,91
Cidade	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Vassouras	4,84	4,82	4,36	4,74	4,76	4,93	4,82
Pinheiral	4,52	4,60	4,45	4,64	4,96	4,75	4,65
Juiz de Fora	4,72	4,56	3,86	4,22	4,34	4,35	4,35



Figura 4.1 – Cidades com dados de radiação próximos a Santo Antônio.

Uma das formas de se determinar a radiação solar incidente em um local no qual ela não é conhecida, usando os dados do CRESESB [14], é tomar a radiação da cidade mais próxima. Outra é fazer a média das três cidades sugeridas pelo site, mês a mês.

Em Santo Antônio utilizou-se outro método. Foi observado que era possível formar um plano a partir dos dados das três cidades mais próximas ao vilarejo, onde cada uma dessas cidades representa um ponto inserido num sistema de coordenadas definido pela latitude, longitude e pela radiação diária mensal da cidade, num determinado mês.

A partir da obtenção desse plano, gerado com os valores das coordenadas das localidades sugeridas pelo site do CRESESB, é possível que seja conhecida a coordenada da radiação de Santo Antônio, uma vez que são dadas sua latitude e sua longitude. Sejam então os seguintes pontos, onde são métricas as coordenadas de posição:

$$\text{Vassouras: } P_{VA,i} = (637591, 7521793, \text{rad}_{VA,i})$$

$$\text{Pinheiral: } P_{PN,i} = (603173, 7509261, \text{rad}_{PN,i})$$

$$\text{Juiz de Fora: } P_{JF,i} = (670733, 7592270, \text{rad}_{JF,i})$$

$$\text{Santo Antônio: } P_{SA,i} = (620130, 7559622, \text{rad}_{SA,i})$$

O índice i representa o mês em que foi obtido o dado de radiação. A cidade de Pinheiral foi escolhida como origem e definiram-se os vetores \vec{u} e \vec{v} da seguinte maneira:

$$\vec{u} = P_{VA,i} - P_{PN,i} = (34418, 12532, \text{rad}_{VA,i} - \text{rad}_{PN,i})$$

$$\vec{v} = P_{JF,i} - P_{PN,i} = (67560, 83009, \text{rad}_{JF,i} - \text{rad}_{PN,i})$$

De posse dos vetores \vec{u} e \vec{v} , a normal \vec{n} do plano será dada pelo seguinte produto vetorial:

$$\vec{n} = \vec{u} \times \vec{v} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 34418 & 12532 & \text{rad}_{VA,i} - \text{rad}_{PN,i} \\ 67560 & 83009 & \text{rad}_{JF,i} - \text{rad}_{PN,i} \end{vmatrix}$$

$$\vec{n} = \vec{i} \cdot (12532 \cdot \text{rad}_{JF,i} - 83009 \cdot \text{rad}_{VA,i} + 70477 \cdot \text{rad}_{PN,i}) +$$

$$\vec{j} \cdot (-34418 \cdot \text{rad}_{JF,i} + 67560 \cdot \text{rad}_{VA,i} - 33142 \cdot \text{rad}_{PN,i}) + \vec{k} \cdot 2010341842$$

Os valores das normais por mês foram calculados utilizando-se os dados de radiação diária de Vassouras, Pinheiral e Juiz de Fora, vistos na Tabela 4.1. Esses valores são mostrados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Valor do vetor normal por mês.

Mês	Normal \vec{n}
Janeiro	$-20659,19 \cdot \vec{i} + 26259,42 \cdot \vec{j} + 2010341842 \cdot \vec{k}$
Fevereiro	$-42757,7 \cdot \vec{i} + 37221,8 \cdot \vec{j} + 2010341842 \cdot \vec{k}$
Março	$-24903,94 \cdot \vec{i} + 33104,74 \cdot \vec{j} + 2010341842 \cdot \vec{k}$
Abril	$-25091,3 \cdot \vec{i} + 27202,64 \cdot \vec{j} + 2010341842 \cdot \vec{k}$
Mai	$-27612,59 \cdot \vec{i} + 26106,3 \cdot \vec{j} + 2010341842 \cdot \vec{k}$
Junho	$-4010,24 \cdot \vec{i} + 11013,76 \cdot \vec{j} + 2010341842 \cdot \vec{k}$
Julho	$-24056,48 \cdot \vec{i} + 14735,6 \cdot \vec{j} + 2010341842 \cdot \vec{k}$
Agosto	$-18763,26 \cdot \vec{i} + 16239,92 \cdot \vec{j} + 2010341842 \cdot \vec{k}$
Setembro	$76,93 \cdot \vec{i} + 14226,22 \cdot \vec{j} + 2010341842 \cdot \vec{k}$
Outubro	$-13564,34 \cdot \vec{i} + 21211,56 \cdot \vec{j} + 2010341842 \cdot \vec{k}$
Novembro	$8831,96 \cdot \vec{i} + 7827,16 \cdot \vec{j} + 2010341842 \cdot \vec{k}$
Dezembro	$-19954,42 \cdot \vec{i} + 25928 \cdot \vec{j} + 2010341842 \cdot \vec{k}$

Por fim, o plano das radiações é definido pela equação $P_i \cdot \vec{n} = P_{PN,i} \cdot \vec{n}$, onde P_i é um ponto genérico, numa localidade qualquer. Assim, para Santo Antônio, $P_i = P_{SA,i}$. Portanto, os dados de radiação diária média mensal em kWh/m²dia na comunidade foram calculados mês a mês, e são mostrados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Dados de radiação diária média mensal em kWh/m²dia em Santo Antônio.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Santo Antônio	4,45	4,34	4,44	3,89	3,96	3,99	4,35	4,35	4,09	4,22	4,69	4,27

4.3 – Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

4.3.1 – Dimensionamento do Banco de Baterias

O primeiro ponto a se definir com relação ao banco de baterias é a autonomia do sistema, isto é, o número de dias consecutivos nublados ou chuvosos, onde o painel não é capaz de produzir uma quantidade suficiente de energia. De acordo com [1], a autonomia nos SIGFIs é fixada para dois dias. Seguindo também essa determinação, a autonomia do sistema de Santo Antônio será definida para dois dias.

A profundidade de descarga máxima de uma bateria de chumbo-ácido em um sistema fotovoltaico, ou seja, o percentual de quanto da capacidade nominal da bateria foi utilizada, é estabelecida [11] como padrão em 80%.

Outro aspecto importante é a escolha da tensão do sistema V_{PV} . Como desta vez não há padrões pré-estabelecidos, foi preferida a tensão de 48 V. Desta maneira, para calcular o banco de baterias é necessário saber o consumo de corrente diário. Assim:

$$C_{\text{dia}} = \frac{E_{SA}}{V_{PV}} = \frac{146,0 \text{ kWh}}{48 \text{ V}} = 3,04 \text{ kAh}$$

Ainda é preciso corrigir a potência do sistema fotovoltaico com alguns fatores de eficiência [11]. Esses fatores servem para se considerar eventuais perdas e são mostrados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Fatores de eficiência dos componentes do sistema fotovoltaico.

Componente	Fator de Eficiência
Tipo de módulo (cristalino)	0,90
Bateria	0,95
Inversor	0,80
Fiação	0,98

Assim, considerando as eficiências da bateria, do inversor e da fiação, tem-se:

$$C_{SA} = \frac{C_{\text{dia}}}{0,95 \times 0,80 \times 0,98} = \frac{3,04 \text{ kAh}}{0,745} = 4,08 \text{ kAh}$$

Considerando-se a autonomia de dois dias e a profundidade de descarga de 80%, o banco de baterias deverá ter a capacidade de:

$$C_{\text{Total}} = \frac{C_{SA} \times N}{P_d} = \frac{4,08 \text{ kAh} \times 2}{0,8} = 10,20 \text{ kAh}$$

onde N é a autonomia do sistema fotovoltaico e P_d é a profundidade de descarga máxima da bateria.

Dada essa capacidade de 10,2 kAh, o modelo de bateria escolhido foi o Delphi Freedom 3000 [A2], com as especificações vistas na Figura 4.2, pois ela apresenta uma elevada capacidade nominal.

DELPHI FREEDOM 3000

DELPHI FREEDOM 3000

Tensão Nominal: 12V
 Capacidade Nominal:
 185Ah em 100h a 25°C até 10,5V
 (1,75V / elemento)
 170Ah em 20h a 25°C até 10,5V
 (1,75V / elemento)
 160Ah em 10h a 25°C até 10,5V
 (1,75V / elemento)
 Dimensões:
 Comprimento: 510mm
 Largura: 213mm
 Altura: 230mm
 Peso: 46kg

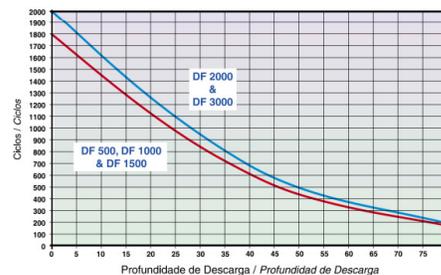


Figura 4.2 – Especificações da bateria Delphi Freedom 3000.

Para se chegar aos 10,2 kAh necessários é preciso 60 baterias em paralelo. Como a tensão da bateria é de 12 V e do sistema é de 48 V, é preciso quadruplicar esse número, ou seja, serão usadas, ao todo, 240 baterias Delphi Freedom 3000.

4.3.2 – Dimensionamento dos Painéis Fotovoltaicos

Como a temperatura na cidade de Rio Preto não sofre grandes variações e é bastante amena, conforme visto no site da Câmara Municipal [15], e também a fim de simplificar os cálculos, a temperatura em Santo Antônio foi considerada como constante em 25°C, a mesma em que são definidas as especificações dos módulos fotovoltaicos. Assim, o pior caso de radiação é no mês de abril, onde se tem 3,89 kWh/m² por dia. Desta maneira, para se determinar as horas de sol pleno equivalente, ou seja, o número de horas por dia correspondente a uma radiação constante de 1,0 kW/m², deve-se fazer a seguinte razão:

$$SP_{\text{abril}} = \frac{3,89 \text{ kWh/m}^2}{1,0 \text{ kW/m}^2} = 3,89 \text{ h}$$

Portanto, se o projeto for dimensionado para este mês, o mesmo será capaz de fornecer energia suficiente nos demais meses do ano. Para atender a demanda em abril, o sistema fotovoltaico deverá ter a potência mínima dada por:

$$P = \frac{E_{SA}}{SP_{\text{abril}}} = \frac{146,0}{3,89} = 37,53 \text{ kW}$$

Considerando-se os fatores de eficiência da Tabela 4.4, a capacidade instalada da Usina Solar de Santo Antônio deverá ser de:

$$P_{SA} = \frac{P}{0,9 \times 0,95 \times 0,8 \times 0,98} = \frac{37,53}{0,67} = 56,01 \text{ kW}$$

Para essa capacidade instalada de 56,0 kW, o modelo de módulo fotovoltaico escolhido para o sistema foi o TWES-(225)60P da EcoSolargy [A3], com as especificações vistas na Figura 4.3.

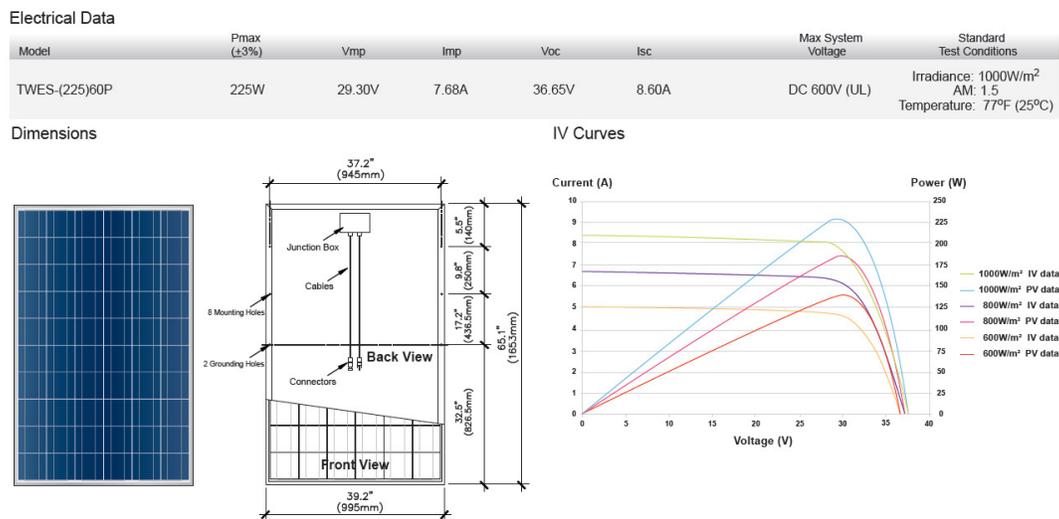


Figura 4.3 – Especificações do módulo fotovoltaico TWES-(225)60P da EcoSolargy.

Assim, para se chegar aos 56,0 kW de capacidade instalada são necessários pelo menos 249 módulos. A fim de garantir um arranjo mais ordenado, com maior facilidade na distribuição em painéis iguais, serão usados 252 módulos fotovoltaicos.

4.3.3 – Configuração do Arranjo Fotovoltaico

O total de baterias do banco é de 240 e de módulos fotovoltaicos é de 252. A ideia é fazer um arranjo com pequenos pacotes, a fim de simplificar as conexões do sistema e facilitar a expansão da geração, se ela for necessária. Deste modo, a Usina Solar de Santo Antônio será desmembrada em doze subsistemas iguais, de 20 baterias e 21 módulos cada um, com seu próprio controlador de carga. A cada dois subsistemas terá um inversor, e eles serão interligados.

Para efeito de cálculo, basta dimensionar apenas um, pois os outros serão idênticos. O esquema do arranjo está mostrado na Figura 4.4.

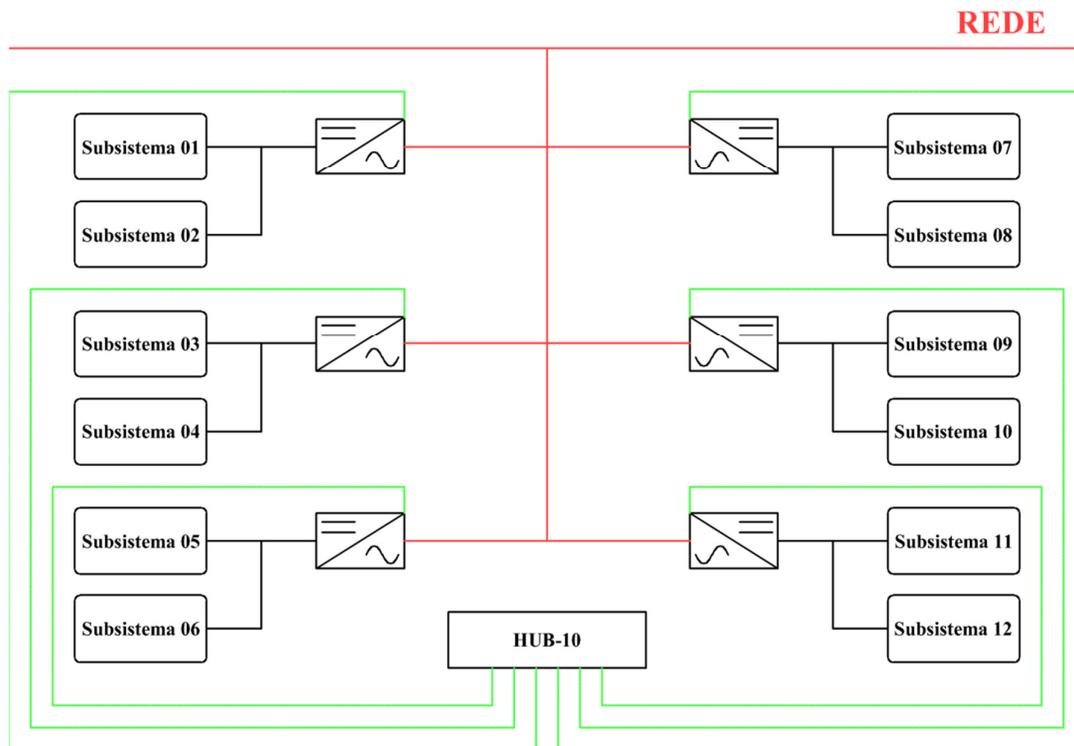


Figura 4.4 – Esquema de conexão com a rede do arranjo fotovoltaico de Santo Antônio.

Os 21 módulos de cada subsistema ficarão organizados em sete fileiras, com três módulos cada uma, formando um único painel fotovoltaico. Desta maneira, as especificações de cada painel dos subsistemas da usina solar ficam como está mostrado na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Especificação dos painéis fotovoltaicos da Usina Solar de Santo Antônio.

Especificação	Valor da Grandeza
Potência Máxima	4725 W
Tensão de Máxima Potência (V_{mp})	87,9 V
Corrente de Máxima Potência (I_{mp})	53,76 A
Tensão de Circuito Aberto (V_{oc})	109,95 V
Corrente de Curto-Circuito (I_{sc})	60,2 A

Assim, a escolha do controlador de carga e do inversor deverá levar em conta esses números. A disposição dos módulos nos painéis será como está mostrado na Figura 4.5.

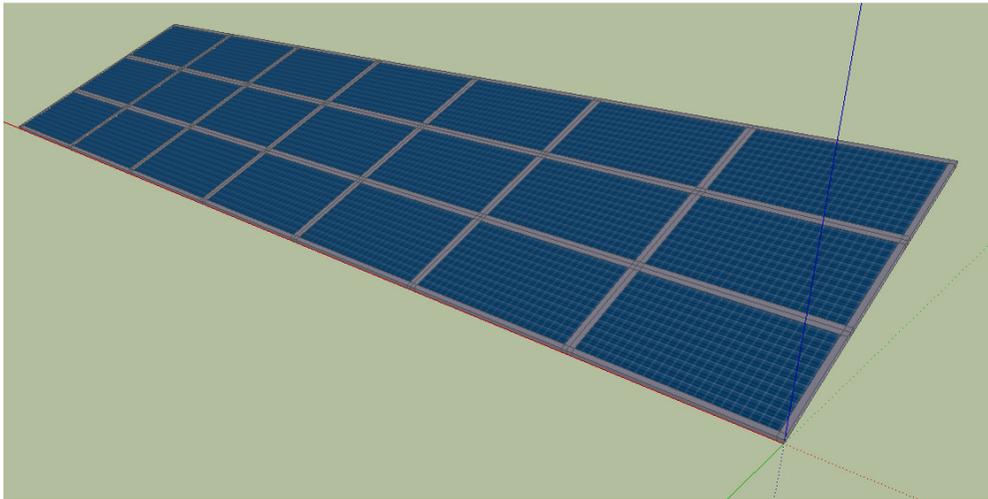


Figura 4.5 – Disposição dos módulos fotovoltaicos nos painéis da Usina Solar de Santo Antônio.

Deve-se então calcular a distância entre as fileiras de módulos nos painéis. Com os módulos posicionados como na Figura 4.5, o comprimento de cada painel será três vezes a largura de cada módulo mais 15 cm (aproximação para as separações entre os módulos no suporte), ou seja,

$$(3 \times 0,995) + 0,15 = 3,135 \text{ m}$$

Como a inclinação dos painéis é de 22° , a altura Z, conforme vista na Figura 4.6, é:

$$Z = 3,135 \times \text{sen}(22^\circ) = 1,174 \text{ m}$$

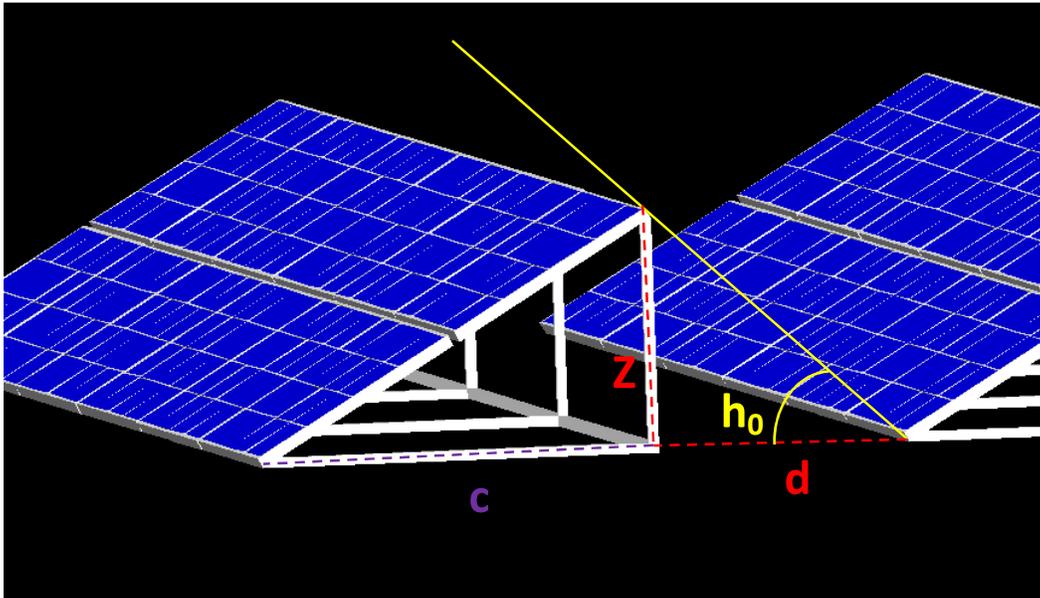


Figura 4.6 – Altura do painel (Z), ângulo de incidência dos raios solares no meio dia solar (h_0), comprimento do painel (c) e distância entre os painéis (d).

Onde h_0 é o ângulo de incidência dos raios solares no meio dia solar. Segundo [6], esse ângulo é dado por:

$$h_0 = (90^\circ - \text{LAT}) - 23,5^\circ = (90^\circ - 22^\circ) - 23,5^\circ = 44,5^\circ$$

Ainda segundo [12], a equação que fornece a distância d entre os painéis será dada por:

$$d = \frac{Z}{\tan(h_0)} = \frac{1,174}{\tan 44,5^\circ} = 1,195 \text{ m}$$

Assim, cada painel deverá estar afastado, pelo menos, 1,2 m do outro. Os doze painéis serão divididos em duas fileiras. Desta maneira, o comprimento de cada fileira será dado por:

$$a = (6 \times c) + (5 \times d) = [6 \times 3,135 \times \cos(22^\circ)] + (5 \times 1,195) = 23,42 \text{ m}$$

A largura de cada fileira será sete vezes o comprimento de cada módulo mais 35 cm (aproximação para as separações entre os módulos no suporte), ou seja,

$$b = (7 \times 1,653) + 0,35 = 11,921 \text{ m}$$

Seja a disposição dos painéis e das fileiras como mostrado na Figura 4.7, tem-se que a área ocupada pelo arranjo fotovoltaico é de:

$$A = [(2 \times b) + 3,0] \times a = [(2 \times 11,92) + 3,0] \times 23,42 = 628,59$$

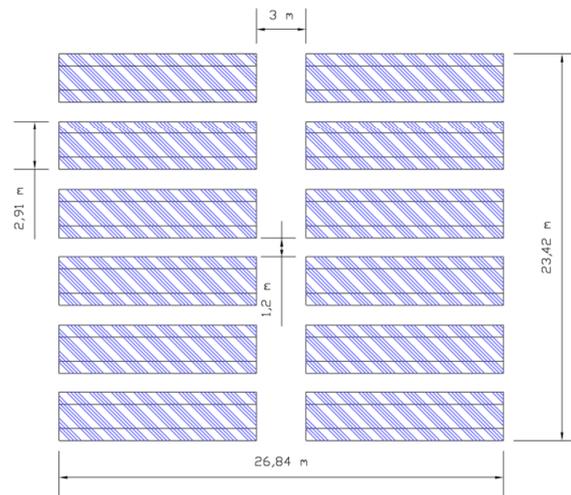


Figura 4.7 – Disposição dos painéis fotovoltaicos da Usina Solar de Santo Antônio.

O arranjo fotovoltaico ocupa uma área de $628,59 \text{ m}^2$, que corresponde a aproximadamente 1,57% do terreno disponível para a instalação da Usina Solar de Santo Antônio.

4.3.4 – Escolha do Controlador de Carga

O controlador de carga deve ser dimensionado para atender todas as especificações dos painéis do sistema de Santo Antônio. Desse modo, o controlador escolhido foi o FLEXmax 80 da Outback [A4], pois além de atender às especificações, ele ainda tem a função MPPT.

4.3.5 – Escolha do Inversor

O inversor escolhido deverá ser capaz de se conectar à rede e, ao mesmo tempo, trabalhar com um banco de baterias. O sistema fotovoltaico de Santo Antônio tem capacidade instalada de 56,0 kW. Há no mercado poucos inversores que trabalham com essa potência, e os que existem não trabalham com banco de baterias. Dessa forma a escolha por um inversor central ficou inviabilizada.

Entretanto, o inversor grid-tie GS8048 da Outback [A5] permite que se trabalhe até 10 inversores em paralelo, interconectados através do HUB10 e do MATE3, ambos os produtos também da Outback. Assim, os inversores trabalham como se fossem um único central. Então, o inversor escolhido foi o GS8048 da Outback [A5], de 8000 W.

Segundo [16], as potências dos inversores podem ser subdimensionadas consideravelmente quando o sistema fotovoltaico é conectado a rede. Desta forma, cada inversor será conectado com dois subsistemas de 4725 W. A Figura 4.8 mostra a imagem do inversor escolhido, junto com os dois controladores de carga mais o HUB10 e o MATE3.



Figura 4.8 – Equipamentos do sistema fotovoltaico: Inversor GS8048, dois Controladores de Carga FLEXmax 80, o HUB10 e o MATE3.

Desse modo, o fator de dimensionamento do inversor, FDI, que é a relação entre a potência nominal do inversor sobre a potência do arranjo fotovoltaico, será de:

$$FDI = \frac{8000}{2 \times 4725} = \frac{8000}{9450} = 0,85$$

A disposição dos inversores e a interconexão a partir do HUB10 foram mostradas na Figura 4.4, onde um deles será definido como “master” e os outros como “slave”. A Figura 4.8 mostra a conexão dos módulos, baterias e controladores de carga de dois subsistemas em um inversor.

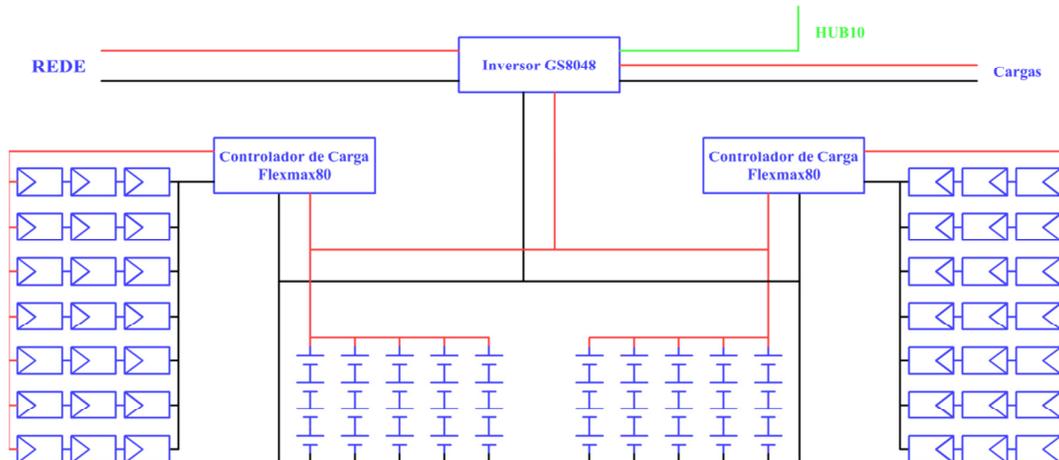


Figura 4.9 – Esquema de conexões entre dois subsistemas em um inversor.

4.4 – Dimensionamento dos Sistemas Fotovoltaicos Independentes

Para as seis residências afastadas do núcleo urbano de Santo Antônio, e ainda sem energia elétrica, sistemas fotovoltaicos autônomos serão projetados.

As cargas de cada casa serão estimadas como anteriormente, ou seja, 220 kWh mensais por residência. Por dia esse consumo é de 7,3 kWh. Assim, o consumo de corrente diário para uma dessas casas será de:

$$C_{\text{dia}} = \frac{7,3 \text{ kWh}}{48 \text{ V}} = 152,1 \text{ Ah}$$

Corrigindo-se esse valor de acordo com [11] tem-se:

$$C_{\text{SA}} = \frac{152,1 \text{ Ah}}{0,745} = 204,2 \text{ Ah}$$

Considerando-se uma autonomia de dois dias e a profundidade de descarga de 80%, como no caso do sistema coletivo, o banco de baterias deverá ter a capacidade de:

$$C_{\text{Total}} = \frac{204,2 \text{ Ah} \times 2}{0,8} = 510,5 \text{ Ah}$$

O modelo de bateria para os sistemas autônomos também será o Delphi Freedom 3000 [A2], com as especificações vistas na Figura 4.2. Para se chegar aos 510,5 Ah necessários é preciso três baterias em paralelo. Como a tensão da bateria é de 12 V e do sistema é de 48 V, é preciso quadruplicar esse número, ou seja, serão usadas, ao todo, 12 baterias para se formar o banco.

Para atender a demanda em abril, mês com menor incidência de radiação solar, o sistema fotovoltaico deverá ter a potência mínima dada por:

$$P = \frac{E_{\text{SA}}}{SP_{\text{abril}}} = \frac{7,3}{3,89} = 1,9 \text{ kW}$$

Considerando-se os fatores de eficiência de [11], a capacidade instalada do painel fotovoltaico deverá ser de:

$$P_{\text{SA}} = \frac{1,9}{0,67} = 2,8 \text{ kW}$$

O modelo de módulo fotovoltaico escolhido nos sistemas independentes também foi o TWES-(225)60P da EcoSolargy [A3], com as especificações vistas na Figura 4.3. Assim, para se chegar aos 2,8 kW de capacidade instalada são necessários pelo menos 13 módulos. A fim de garantir um arranjo mais ordenado, com maior facilidade na distribuição em painéis iguais, serão usados 14 módulos fotovoltaicos.

O arranjo será formado com sete fileiras de dois módulos cada uma. Assim, as especificações do arranjo ficam como está mostrado na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Especificação do arranjo fotovoltaico dos sistemas autônomos em Santo Antônio.

Especificação	Valor da Grandeza
Potência Máxima	3150 W
Tensão de Máxima Potência (V_{mp})	58,6 V
Corrente de Máxima Potência (I_{mp})	53,76 A
Tensão de Circuito Aberto (V_{oc})	73,3 V
Corrente de Curto-Circuito (I_{sc})	60,2 A

O controlador de carga escolhido para esse sistema é o FLEXmax 60 da Outback [A4].

Quanto ao inversor, ele não precisa ser grid-tie, mas somente gerador de onda senoidal. Desta maneira, o inversor escolhido foi o VFX3648 também da Outback [A6]. Nesse caso, o FDI, que não pode ser menor que um porque o sistema é autônomo, ficou em:

$$FDI = \frac{3600}{3150} = 1,14$$

A Figura 4.10 mostra o esquema de um sistema autônomo.

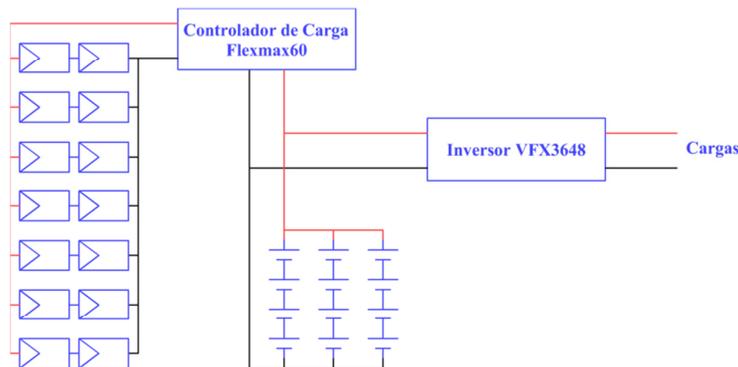


Figura 4.10 – Esquema de um sistema autônomo.

Assim, o sistema fotovoltaico de Santo Antônio será formado por uma central geradora de 56,0 kW de capacidade instalada e mais seis sistemas autônomos de 2,8 kW, num total de 72,8 kW para toda a comunidade.

Conclusão

O objetivo deste trabalho, que era bem definido e fechado, foi atingido. Seguiu-se um conceito preestabelecido do uso de fontes alternativas de energia. Contudo, existem outros casos em que é possível a utilização de outras fontes. Este projeto é um exemplo de aplicação bem significativa do ponto de vista ambiental e de exequibilidade.

Neste estudo, conclui-se pela viabilidade de um sistema fotovoltaico para oferta de energia a comunidade rural de Santo Antônio das Varejas, do município de Rio Preto – MG, conforme objetivos propostos. A geração distribuída se apresentou como uma alternativa válida à expansão da rede para comunidades afastadas dos centros urbanos.

Para isso, teve-se como ponto de partida a estimativa da radiação solar local na elaboração do projeto. Uma dificuldade encontrada foi a definição da demanda energética da comunidade, uma vez que ela se apresentou bastante heterogênea, havendo casas um grande número de moradores, outras apenas de veraneio e ainda residências em que não há o fornecimento de eletricidade.

Teve-se acesso as contas de luz das doze residências do vilarejo de Santo Antônio. A conta da Igreja também foi obtida. Foi verificado que a estimativa de 220 kWh/mês por residência se mostra mais que suficiente para atender a demanda da comunidade no sistema fotovoltaico central. A Tabela 5.1 mostra as principais informações dessas contas, e foi calculado o consumo médio mensal por residência baseado no histórico de consumo.

Tabela 5.1 – Dados das contas de luz residenciais do vilarejo de Santo Antônio.

Casa	Cliente	Histórico de Consumo – 2011 [kWh]											
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
01	7002598331	77	30	12	0	0	0	0	0	0	2	0	19
02	7008520843	38	37	38	38	32	36	37	32	35	34	60	43
03	7006076028	76	119	68	120	100	63	89	123	70	84	122	85
04	7006248009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05	7005204036	80	145	84	84	187	94	96	90	98	77	89	81
06	7001518033	29	316	196	218	26	146	130	157	144	143	69	118
07	7003894834	123	191	129	128	279	141	142	341	162	166	274	120
08	7005459063	74	233	72	73	53	66	64	57	62	61	150	92
09	7008863625	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
10	7004431274	68	110	71	70	117	74	77	66	76	78	46	67
11	7009222139	0	22	4	47	49	13	43	117	54	29	80	0
12	7008439091	6	6	0	5	5	20	6	6	6	6	5	9
Igreja	7005484257	0	0	16	17	0	17	19	236	26	27	0	29
Média	-	43	93	53	62	65	52	54	94	56	54	69	51

Nesse sentido, contribui-se para a melhoria da qualidade de vida dos moradores de Santo Antônio das Varejas, possibilitando o desenvolvimento econômico da comunidade com a instalação de um tanque refrigerador de leite. Além disso, com a utilização de uma fonte de energia renovável, protege-se o meio ambiente numa área de preservação ambiental.

O futuro engenheiro eletricista, como cidadão, deve pautar seu trabalho numa visão de transformação social, ecológica e buscar o desenvolvimento econômico sustentável. Além disso, deve estar em contínua formação profissional e pessoal através da educação continuada.

Referências Bibliográficas

[1] ANEEL. Estabelece os procedimentos e as condições de fornecimento por intermédio de Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes – SIGFI. Resolução Normativa n°. 83, de 20 de setembro de 2004. **Lex:** D.O de 24.09.2004, seção 1, p. 126, v. 141, n. 185.

[2] LIMA, Fabio Jose Martins de et al. **Caderno do Plano Diretor Participativo do Município de Rio Preto – MG**. Juiz de Fora: UFJF, 2007.

[3] IBGE. **Censo Demográfico de 2010**. Dados do Censo 2010 publicados no Diário Oficial da União do dia 14/11/2010. Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/dados_divulgados>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2012.

[4] SEVERINO, Mauro Moura; CAMARGO, Ivan Marques de Toledo; OLIVEIRA, Marco Aurélio Gonçalves de. Geração Distribuída: Discussão Conceitual e Nova Definição. **Revista Brasileira de Energia**, Itajubá, v. 14, n. 1, p. 47-69, jan./jun. 2008.

[5] ANEEL. Estabelece as condições para a comercialização de energia elétrica, oriunda de empreendimentos de geração que utilizem fontes primárias incentivadas, com unidade ou conjunto de unidades consumidoras cuja carga seja maior ou igual a 500 kW e dá outras providências. Resolução Normativa n°. 247, de 21 de dezembro de 2006. **Lex:** D.O de 26.12.2006, seção 1, p. 271, v. 143, n. 246.

[6] ANEEL. **Minuta da Seção 3.7 – Acesso de Micro e Minigeração Distribuída.**

Descrição dos procedimentos para acesso de micro e minigeração distribuída incentivada ao sistema de distribuição. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2011/042/documento/minuta_secao_3.7_modulo_3_prodist.pdf>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2012.

[7] AMARANTE, Odilon Antônio Camargo do. **Atlas Eólico: Minas Gerais.** Belo Horizonte: Cemig, 2010.

[8] OLIVER, André de Paula Moniz. **Manual de Treinamento em Biodigestão – versão 2.0.** Instituto Winrock – Brasil, 2008.

[9] PEREIRA, E.B.; MARTINS, F.R; ABREU, S.L.; RUTHER, R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar – 1ª edição.** São José dos Campos: INPE, 2006.

[10] HOEFLER PHOTOVOLTAIK. **Sonnenkarte Deutschland.** Mapa da radiação solar anual na Alemanha em kWh por m². Disponível em: <<http://www.hoefler-photovoltaik.de/sonnenkarte-deutschland.htm>>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2012.

[11] CEPEL/CRESESB. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: CRESESB, 1999.

[12] SOUZA, Ronilson di. **Treinamento Energia Solar Fotovoltaica.** 24-25 de maio de 2011. 39 f. Notas de Aula. Material impresso.

[13] DGS/GREENPRO. **Energia Fotovoltaica – Manual sobre Tecnologias, Projecto e Instalação.** Portugal, 2004.

[14] CEPEL/CRESESB. **Potencial Energético Solar – SunData**. Dados da radiação solar no Brasil. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/sundata/index.php>>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2012.

[15] CÂMARA MUNICIPAL DE RIO PRETO – MG. **Site da câmara municipal do município de Rio Preto – MG**. Disponível em: <<http://www.cmrp.mg.gov.br/>>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2012.

[16] MACÊDO, Wilson Negrão. **Análise do Fator de Dimensionamento do Inversor aplicado a Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede**. 2006. 183f. Tese (Doutorado no Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

Anexos

A1 – Refrigeradores de Leite Sulinox

ORDENHADEIRAS SULINOX

REFRIGERADORES DE LEITE SULINOX

MEMORIAL DESCRITIVO

O memorial aqui descrito se aplica a todos os refrigeradores de leite Sulinox. Os modelos diferem somente pela capacidade volumétrica, área de troca térmica e unidades de refrigeração.

Os tanques refrigeradores de leite Sulinox destinam-se a refrigerar o leite com $t_1=37^{\circ}\text{C}$ a $t_2=4^{\circ}\text{C}$ no tempo de até 3 h, seguindo a norma ISSO 5708, CLASSE BII.

A retirada de calor contido no leite se dá por meio de unidade de refrigeração adequada a cada regime operacional.

Durante o processo de refrigeração o leite é agitado lentamente para homogenizar a temperatura e o próprio produto por moto-reductor: 1/20 cv, 1:70, 24,5 rpm, acoplado a hélice modelo Sulinox, especial para este fim.

O tanque para o leite é construído de forma cilíndrica vertical. O fundo de expansão direta para R-22 é construído de modo a obter o melhor rendimento de troca térmica possível. São áreas quadradas previamente calculadas e testadas a uma pressão de 21,12 kgf/cm². O regime operacional da unidade de refrigeração é de 0/-5 a +35°C.

A união entre a chapa superior e a inferior, que assim formam o fundo de expansão, é feita por pontos de eletrofunção (solda ponto).

O acabamento interno do tanque é de 0,4 a 0,6 Ra um. O isolamento térmico do tanque de leite é feito de poliuretano expandido # 50mm, densidade 35 a 40 kg/m³, com coeficiente de troca térmica superficial = 10 kcal/m²h°C. Na prática equivale a uma perda de 1°C a cada 6 horas, na temperatura do leite.

A tampa de abertura e fechamento é construída de chapa inox conformada, inteira ou bi-partida, com suporte para reforço e manuseio. Na parte traseira estão fixadas as molas de compensação que facilitam a abertura e fechamento da tampa (no modelo com tampa inteira).

O tanque e a unidade condensadora são fixados a uma estrutura "U" galvanizada, com parafusos niveladores.

A unidade condensadora é calculada e escolhida de acordo com a necessidade de cada regime operacional. Normalmente: Danfoss ou Heatcraft. As unidades são protegidas contra: sub e sobre tensão, sub e sobre pressão, sobre temperatura, falta de óleo, falta de fase e descarga elétrica.

Cada tanque, após conclusão de montagem, é testado com água, simulando condições reais de temperatura e sua curva de desempenho registrado por computador, com analisador de processo NOVUS N1110.

O volume do leite é medido por régua milimetrada de inox, onde para cada tanque, um milímetro corresponde a um volume indicado em uma tabela, fornecida pela Sulinox.

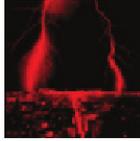
DANFOSS 4 ORDENHAS									
Modelo	Unidade	Potencia (HP)	Consumo (KW/h)	Carga de gas	Cabo	Cap. Partida	Cap. Trabalho	kva fator de pont. 1 ajuste de 20%	
				15Metros	30Metros				
250L.	HCM 006	1/2	0.9	620 g	1.5mm	2.5mm	80 µF		1.08
500L.	HCM 008	5/8	0.9	880 g	1.5mm	2.5mm	125 µF	15 µF	1.08
750L.	HAM 010	1.0	1.2	880 g	1.5mm	2.5mm	98 µF	20 µF	1.44
1000L.	HGM 018	1.5	1.5	1520 g	2.5mm	4mm	88-108 µF	25 µF	1.8
1500L.	HCM 022	2.0	1.9	2030 g	2.5mm	4mm	88-108 µF	45 µF	2.28
2000L.	HCM 028	2.5	2.6	2490 g	2.5mm	4mm	128-154 µF	50 µF	3.12
2500L.	HCM 032	2,3/4	3.0	2300 g	2.5mm	4mm	88-108 µF	45 µF	3.6
3000L.	HCM 040	3.5	3.8	3900 g	6mm	10mm	128-154 µF	55 µF	4.56
4000L.	HCM 064	5.5	5.6	4470 g	10mm	16mm	235 µF	55 µF	6.72

DANFOSS 2 ORDENHAS									
Modelo	Unidade	Potencia (HP)	Consumo (KW/h)	Carga de gas	Cabo	Cap. Partida	Cap. Trabalho	kva fator de pont. 1 ajuste de 20%	
				15Metros	30Metros				
250L.	HCM008	5/8	1.0	880 g	2.5mm	4mm	125 µF	15 µF	1.2
500L.	HGM018	1.5	1.5	1150 g	2.5mm	4mm	88-108 µF	25 µF	1.8
750L.	HCM 022	2.0	1.9	2120 g	2.5mm	4mm	88-108 µF	45 µF	2.28
1000L.	HCM 028	2.5	2.6	2100 g	2.5mm	4mm	128-154 µF	50 µF	3.12
1500L.	HCM 040	3.5	3.8	2190 g	4mm	6mm	128-154 µF	55 µF	4.56
2000L.	HCM 064	5.5	5.6	5460 g	6mm	10mm	235 µF	55 µF	6.72
2500L.	HCM 064	5.5	5.6	5460 g	6mm	10mm	235 µF	55 µF	6.72
3000L.	HGM080	7.0	7.1	16570 g	10mm	16mm	2pc 128-154 µF	2pc 55 µF	8.52
4000L.	HGMT25	10.5	10.7	21870 g	16mm	25mm	2pc 235 µF	2pc 55 µF	12.84
4000L.	AGM 164	10.5	10.7	21870 g	16mm	25mm			

Características dos Refrigeradores de Leite Sullinox			
Modelo	Dimensões (alt x comp x larg)	Peso (Kg)	Unidade Frio (HP)
250 litros 2 ordenhas	1540 x 1800 x 1200mm	151	1
250 litros 4 ordenhas	1540 x 1800 x 1200mm	142	1/2
500 litros 2 ordenhas	1400 x 2100 x 1200mm	186	1.1/4
500 litros 4 ordenhas	1400 x 2100 x 1200mm	181	1
750 litros 2 ordenhas	1240 x 2340 x 1470mm	238	2
750 litros 4 ordenhas	1240 x 2340 x 1470mm	224	1
1000 litros 2 ordenhas	1420 x 2340 x 1470mm	273	2.1/2
1000 litros 4 ordenhas	1420 x 2340 x 1470mm	258	1.1/4
1500 litros 2 ordenhas	1800 x 2600 x 1520mm	320	3.1/2
1500 litros 4 ordenhas	1800 x 2340 x 1470mm	293	2
2000 litros 2 ordenhas	1600 x 3050 x 2000mm	459	5
2000 litros 4 ordenhas	1600 x 3050 x 2000mm	443	2.1/2
2500 litros 2 ordenhas	1750 x 3050 x 2000mm	580	5
2500 litros 4 ordenhas	1750 x 3050 x 2000mm	558	2.3/4
3000 litros 2 ordenhas	1940 x 3050 x 2000mm	624	2 x 3.1/2
3000 litros 4 ordenhas	1940 x 3050 x 2000mm	600	3.1/2
4000 litros 2 ordenhas	1940 x 3560 x 2300mm	780	
4000 litros 4 ordenhas	1940 x 3560 x 2300mm	750	5

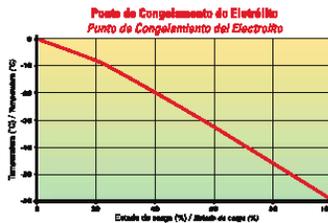
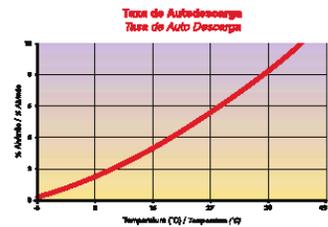
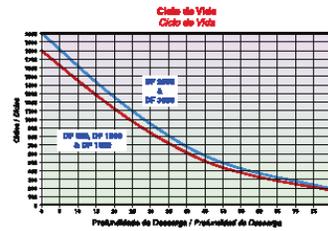
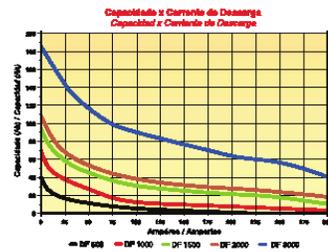
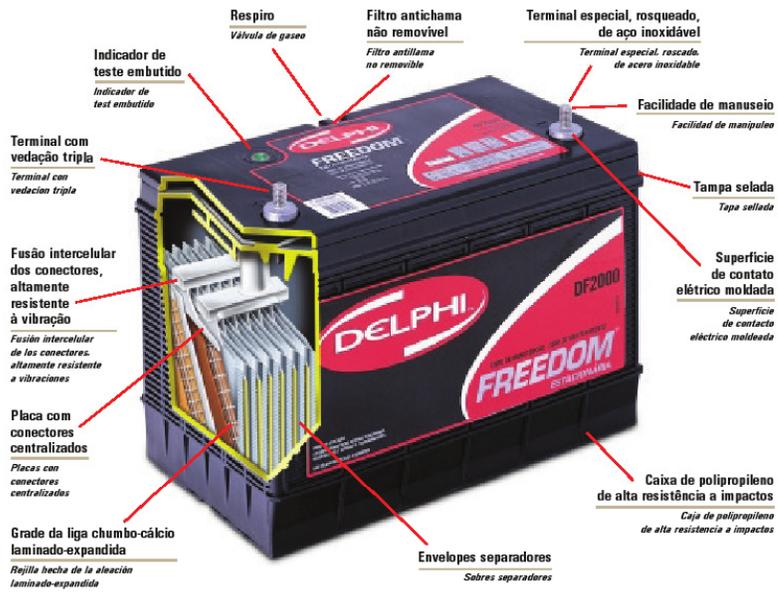


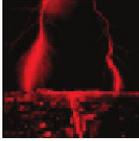
A2 – Baterias Delphi Freedom 3000



Baterias Delphi Freedom Estacionárias

Baterías Delphi Freedom Estacionarias





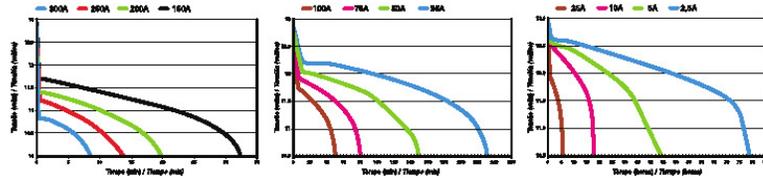
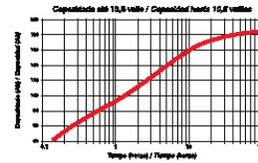
DELPHI FREEDOM 3000

DELPHI FREEDOM 3000



Tensão Nominal: 12V
 Capacidade Nominal:
 185Ah em 100h a 25°C até 10,5V
 (1,75V / elemento)
 170Ah em 20h a 25°C até 10,5V
 (1,75V / elemento)
 160Ah em 10h a 25°C até 10,5V
 (1,75V / elemento)
 Dimensões:
 Comprimento: 510mm
 Largura: 213mm
 Altura: 230mm
 Peso: 46kg

Tensión Nominal: 12V
 Capacidad Nominal:
 185Ah en 100h a 25°C hasta 10,5V
 (1,75V / celda)
 170Ah en 20h a 25°C hasta 10,5V
 (1,75V / celda)
 160Ah en 10h a 25°C hasta 10,5V
 (1,75V / celda)
 Dimensiones:
 Largo: 510mm
 Ancho: 213mm
 Alto: 230mm
 Peso: 46kg



Características Elétricas

Características Eléctricas

Capacidade em Amperes-hora para diferentes regimes de descarga a 27°C.

Capacidad en Amperios-hora para distintos regimenes de descarga a 27°C.

Modelo	Tensão Final 10,5 volts (1,75 volts/elemento)					
	Horas					
	100	20	10	5	1	0,5
DF500	40	36	32	28	20	16
DF1000	70	60	56	50	35	27
DF1500	90	86	80	69	47	38
DF2000	115	100	95	79	52	42
DF3000	185	170	160	140	93	70

Capacidade em watts para diferentes regimes de descarga à 27°C.

Capacidad en watts para distintos regimenes de descarga a 27°C.

Modelo	Tensão Final 10,5 volts (1,75 volts/elemento)					
	Horas					
	100	20	10	5	1	0,5
DF500	5	22.5	40	70	250	400
DF1000	8.7	37.5	70	125	437.5	675
DF1500	11.3	53.7	100	172.5	587.5	950
DF2000	14.4	62.5	118.7	197.5	650	1050
DF3000	23.2	106.3	200	350	1162.5	1900

A3 – Módulo Fotovoltaico TWES-(225)60P da EcoSolargy

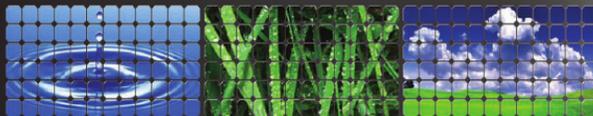


NEPTUNE SERIES 225 MODULE

The Neptune Series 225 provides exceptional performance. Utilizing 60 grade A solar cells, the 225 watt solar module is perfect for residential rooftop to megawatt size utility scale projects. The poly crystalline module is manufactured to provide excellent conversion efficiency and maximum kilowatt/hour production. All cells are individually flash tested and each assembled module is quality assured to exceed warranty performance and liability.

MODULE FEATURES

- High-efficiency solar cell construction
- Cell Conversion Efficiencies 14.5% - 16%
- Nominal 24 VDC for standard output
- Non-leaded and tin coated ribbon and wash free soldering flux
- High transmissivity low-iron 1/8" tempered glass
- Light anodized aluminum frame to prevent the occurrence of water freezing and warping
- Cross-linking rated above 80%
- Fully automatic lamination technology
- All modules are warranted to perform at 90% for 10 years and 80% at 25 years



NEPTUNE SERIES 225W TWES-(225)60P



POLY-CRYSTALLINE SOLAR MODULE



NEPTUNE SERIES POLY-CRYSTALLINE SOLAR MODULE

TWES-(225)60P

Specifications and Data

Panel Dimensions	65.1" x 39.2" x 1.8" (1653mm x 995mm x 45mm)
Weight	44.1 lb (20 kg)
Cells	Poly-Crystalline 6" x 6" (156mm x 156mm)
Glass	1/8" (3.2mm) Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminum Alloy, Color: Silver
Junction Box	IP65 Rated Junction Box with Bypass Diodes
Cable	4 mm ² solar cable (RHW AWG #12)
Connector	Multi-Contact (MC4) PV plug connectors
EVA	EVA
Backsheet	TPT / TPE

Temperature Coefficients

Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	116°F ± 35°F (47°C ± 2°C)
Temperature Coefficient of ISC (α)	0.06% / °C
Temperature Coefficient of VOC (β)	-0.34% / °C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.44% / °C

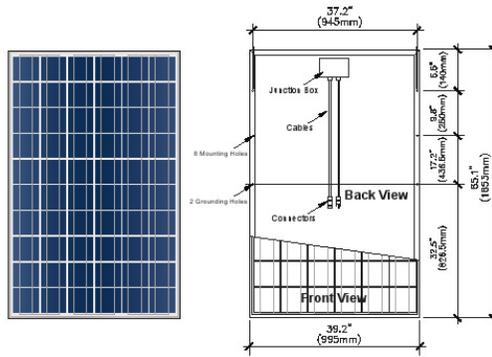
Permissible Operating Conditions

Operating Temperature	-40°F to +185°F (-40°C to +85°C)
Maximum Hail Diameter @ 43Mph (80Kmh)	up to 1" (25mm)
Wind Impact	≤ 2400 Pa
Snow Impact	≤ 5400 Pa

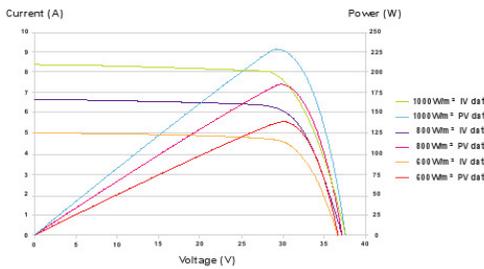
Electrical Data

Model	Pmax (±3%)	Vmp	Imp	Voc	Isc	Max System Voltage	Standard Test Conditions
TWES-(225)60P	225W	29.30V	7.68A	36.65V	8.60A	DC 600V (UL)	Irradiance: 1000W/m ² AM: 1.5 Temperature: 77°F (25°C)

Dimensions



IV Curves



TIANWEI ecoSolargy inc.

1370 Reynolds Avenue, Suite 116 Irvine, California 92614 Tel: 877.808.4214 Email: info@ecoSolargy.com

A4 – Controladores de Carga FLEXmax 60 e FLEXmax 80 da Outback



FLEXmax™
Continuous Maximum Power Point Tracking Charge Controllers



- Increases PV Array Output by up to 30%
- Advanced Continuous Maximum Power Point Tracking
- Full Power Output In Ambient Temperatures up to 104°F (40°C)
- Battery Voltages from 12 VDC to 60 VDC
- Fully OutBack Network Integrated and Programmable
- Programmable Auxiliary Control Output
- Built-In 128 days of Data Logging
- Standard 5 Year Warranty

The FLEXmax family of charge controllers is the latest innovation in Maximum Power Point Tracking (MPPT) charge controllers from OutBack Power Systems. The innovative FLEXmax MPPT software algorithm is both continuous and active, increasing your photovoltaic array power yield up to 30% compared to non-MPPT controllers. Thanks to active cooling and intelligent thermal management cooling, both FLEXmax charge controllers can operate at their full maximum current rating, 60 Amps or 80 Amps respectively, in ambient temperatures as high as 104°F (40°C).

Included in all of the FLEXmax Charge Controllers are the revolutionary features first developed by OutBack Power, including

support for a wide range of nominal battery voltages and the ability to step-down a higher voltage solar array to recharge a lower voltage battery bank. A built-in, backlit 80 character display shows the current status and logged system performance data for the last 128 days at the touch of a button. The integrated OutBack network communications allows FLEXmax series Charge Controllers to be remotely programmed and monitored via a MATE system display and provides unrivaled complete system integration.

FLEXmax MPPT Charge Controllers are the only choice when you demand a high performance, efficient and versatile charge controller for your advanced power system.



OutBack
Power Systems™
www.outbackpower.com

FLEXmax Specifications

	FLEXmax 80 - FM80-150VDC	FLEXmax 60 - FM60-150VDC
Nominal Battery Voltages	12, 24, 36, 48, or 60 VDC (Single model - selectable via field programming at start-up)	12, 24, 36, 48, or 60 VDC (Single model - selectable via field programming at start-up)
Maximum Output Current	80 amps @ 104° F (40°C) with adjustable current limit	60 amps @ 104° F (40°C) with adjustable current limit
Maximum Solar Array STC Nameplate	12 VDC systems 1250 Watts / 24 VDC systems 2500 Watts / 48 VDC systems 5000 Watts / 60 VDC Systems 7500 Watts	12 VDC systems 900 Watts / 24 VDC systems 1800 Watts / 48 VDC systems 3600 Watts / 60 VDC Systems 4500 Watts
NEC Recommended Solar Array STC Nameplate	12 VDC systems 1000 Watts / 24 VDC systems 2000 Watts / 48 VDC systems 4000 Watts / 60 VDC Systems 5000 Watts	12 VDC systems 750 Watts / 24 VDC systems 1500 Watts / 48 VDC systems 3000 Watts / 60 VDC Systems 3750 Watts
PV Open Circuit Voltage (VOC)	150 VDC absolute maximum coldest conditions / 145 VDC start-up and operating maximum	150 VDC absolute maximum coldest conditions / 145 VDC start-up and operating maximum
Standby Power Consumption	Less than 1 Watt typical	Less than 1 Watt typical
Power Conversion Efficiency	97.5% @ 80 Amps in a 48 VDC System - Typical	98.1% @ 60 Amps in at 48 VDC System voltage - Typical
Charging Regulation	Five Stages: Bulk, Absorption, Float, Silent and Equalization	Five Stages: Bulk, Absorption, Float, Silent and Equalization
Voltage Regulation Set points	10 to 60 VDC user adjustable with password protection	10 to 60 VDC user adjustable with password protection
Equalization Charging	Programmable Voltage Setpoint and Duration - Automatic Termination when completed	Programmable Voltage Setpoint and Duration - Automatic Termination when completed
Battery Temperature Compensation	Automatic with optional RTS installed / 5.0 mV per °C per 2V battery cell	Automatic with optional RTS installed / 5.0 mV per °C per 2V battery cell
Voltage Step-Down Capability	Can charge a lower voltage battery from a higher voltage PV array - Max 150 VDC input	Can charge a lower voltage battery from a higher voltage PV array - Max 150 VDC input
Programmable Auxiliary Control Output	12 VDC output signal which can be programmed for different control applications (Maximum of 0.2 amps DC)	12 VDC output signal which can be programmed for different control applications (Maximum of 0.2 amps DC)
Status Display	3.1" (8 cm) backlit LCD screen - 4 lines with 80 alphanumeric characters total	3.1" (8 cm) backlit LCD screen - 4 lines with 80 alphanumeric characters total
Remote Display and Controller	Optional Mate or Mate2 with RS232 Serial Communications Port	Optional Mate or Mate2 with RS232 Serial Communications Port
Network Cabeling	Proprietary network system using RJ 45 Modular Connectors with CAT 5e Cable (8 wires)	Proprietary network system using RJ 45 Modular Connectors with CAT 5e Cable (8 wires)
Data Logging	Last 128 days of Operation - Amp Hours, Watt Hours, Time in Float, Peak Watts, Amps, Solar Array Voltage, Max Battery Voltage Min Battery Voltage and Absorb for each day along with total Accumulated Amo Hours, and kW Hours of production	Last 128 days of Operation - Amp Hours, Watt Hours, Time in Float, Peak Watts, Amps, Solar Array Voltage, Max Battery Voltage Min Battery Voltage and Absorb for each day along with total Accumulated Amp Hours, and kW Hours of production
Hydro Turbine Applications	Consult factory for approved Turbines	Consult factory for approved Turbines
Positive Ground Applications	Requires two Pole Breakers for switching both positive and Negative Conductors on both Solar Array and Battery Connections (HUB 4 and HUB 10 can not be used for use in positive ground applications)	Requires two Pole Breakers for switching both positive and Negative Conductors on both Solar Array and Battery Connections (HUB 4 and HUB 10 can not be used for use in positive ground applications)
Operating Temperature Range	Minimum -40° to maximum 60° C (Power capacity of the controller is automatically derated when operated above 40° C)	Minimum -40° to maximum 60° C (Power capacity of the controller is automatically derated when operated above 40° C)
Environmental Rating	Indoor Type 1	Indoor Type 1
Conduit Knockouts	One 1" (35mm) on the back; One 1" (35mm) on the left side; Two 1" (35mm) on the bottom	One 1" (35mm) on the back; One 1" (35mm) on the left side; Two 1" (35mm) on the bottom
Warranty	Standard 5 year / Available 10 Year	Standard 5 year / Available 10 Year
Weight	- Unit 12.20 lbs (5.56 kg) - Shipping 15.75 lbs (7.10 kg)	11.65 lbs (5.3 kg) 14.55 lbs (6.4 kg)
Dimensions	- Unit 16.25" x 5.75" x 4" (41.3 x 14 x 10 cm) - (H x W x D) - Shipping 21" x 10.5" x 9.75" (53 x 27 x 25 cm)	13.5 x 5.75 x 4" (40 x 14 x 10 cm) 18 x 11 x 8" (46 x 30 x 20 cm)
Options	Remote Temperature Sensor (RTS), HUB 4, HUB 10, MATE, MATE 2	Remote Temperature Sensor (RTS), HUB 4, HUB 10, MATE, MATE 2
Menu Languages	English & Spanish	English & Spanish



Main Office:
19009 62nd Avenue NE
Arlington, WA 98223 USA
Phone: (360) 435.6030
Fax: (360) 435.6019

European Office:
C/ Castelló, 17
08830 - Sant Boi de Llobregat
BARCELONA, España
Phone: +34.93.654.9568

www.outbackpower.com

Available From:



7/02/08

A5 – Inversor GS8048 da Outback



Radian™ Series

GS8048 Inverter/Charger

- Grid-Interactive and Stand-alone capability in the same package
- 8000 Watts of continuous power
- Unsurpassed surge capacity
- 120/240V split-phase voltage
- Dual AC inputs
- Field upgradeable firmware
- Field serviceable modular design
- Simplified parallel design allows easy installation of systems from 8 to 80kW
- GS Load Center option allows for quick and easy installation



The new OutBack Power Technologies Radian Series GS8048 inverter/charger provides a comprehensive answer for grid-interactive and stand-alone power systems. Based upon a proven foundation of reliable technology, but engineered from the ground up to simplify the design, distribution, installation and implementation of energy storage, the standardized structure and integration with the GS Load Center make it easy to provide a successful solution to any power requirement, anywhere.

Incorporating a powerful DC to AC true sine wave inverter, battery charger and dual AC inputs, its 120/240V split-phase output provides a total power solution which seamlessly integrates with traditional North American wiring practices.

Unique dual power module design provides high efficiency at both low and full power operation, while providing redundancy for critical applications. The modular design also allows easy field servicing of installed systems.

Complete system interface using the OutBack MATE3 and HUB Communications Manager enables the Radian Series GS8048 to be connected with other OutBack Power electronics providing industry leading integration and a robust, scalable power solution. Up to 10 units can be connected in parallel for systems up to 80kW continuous power output.

The Radian Series utilizes a durable stainless steel face with galvanized steel enclosure, providing you with OutBack's signature ruggedness but with a sleek, compact and modern appearance.

OutBack Power inverter/chargers are the only choice when you need a dependable power solution for your home or business.



member of The Aljibi Group™

www.outbackpower.com

Specifications for Model GS8048

Electrical Specifications

Nominal DC Input Voltage		48 Vdc
Continuous Output Power at 25°C		8000 VA
AC Output Voltage / Frequency		120/240 Vac / 60 Hz
Continuous AC Output Current at 25°C		33.3 Aac at 240 Vac
Idle Consumption - Invert mode, no load		30 W
CEC Weighted Efficiency		90%
Total Harmonic Distortion	Maximum total harmonic	<5%
	Maximum single voltage harmonic	<2%
Output Voltage Regulation		± 2%
Maximum Output Current	1 ms peak	100 Aac at 240 Vac, 200 Aac at 120 Vac
	100 ms RMS	70.7 Aac at 240 Vac
Overload Capability	100 ms surge	16.97 kVA
	5 second	12 kVA
	30 minute	9 kVA
AC Input Voltage Range (Adjustable)		(L1 or L2) 70 to 140 Vac
AC Input Frequency Range		54 – 66 Hz
Grid-Interactive Voltage Range (IEEE)		(L1 or L2) 108 to 132 Vac
Grid-Interactive Frequency Range (IEEE)		(L1 or L2) 59.3 to 60.5 Hz
Maximum AC Input Current		50 Aac at 240 Vac
Continuous Battery Charge Output		115 Adc
Temperature Range	Operating	0°C to 50°C (power derated above 25°C)
	Storage	-40°C to 60°C
DC Input Voltage Range		40 to 64 Vdc

Mechanical Specifications

Dimensions (H x W x D)	Unit	28 x 16 x 8.7" (71.1 x 40.6 x 22.2 cm)
	Shipping	14.5 x 34.5 x 21" (36.8 x 87.6 x 53.3 cm)
Weight	Unit	125 lbs (56.8 kg)
	Shipping	140 lbs (63.6 kg)
Accessory Ports		Remote Temperature Sensor and MATE3/HUB Communications
Non-volatile Memory		Yes
Field Upgradable Firmware		Yes
Chassis Type		Vented
Certifications		ETL Listed to UL1741
		CSA C22.2 No. 107.1



Main Office:
5917 195th St. NE #7
Arlington, WA 98223 USA
Phone: (360) 435.6030
Fax: (360) 435.6019

www.outbackpower.com

Available From:



980-0028-01-00 Rev C

A6 – Inversor VFX3648 da Outback



FX & VFX Series

Sealed & Vented True Sinewave Inverter/Charger

Sealed FX

- Sinewave Output
- Intelligent Battery Charging
- Modular Stackable Design
- High Operating Efficiency
- Weather-resistant Sealed Chassis
- Corrosion Resistant Internal Components
- Field Serviceable
- Integrated Network Communications
- Standard 5 Year Warranty

Vented VFX

- Sinewave Output
- Intelligent Battery Charging
- Modular System Architecture
- High Operating Efficiency
- “Bug Proof” Chassis
- Corrosion Resistant Internal Components
- Field Serviceable
- Integrated Network Communications
- Standard 5 Year Warranty





OutBack Power's true sinewave inverter/charger is a complete power solution. It incorporates a DC to AC sinewave inverter, battery charger and AC transfer switch housed within a die-cast aluminum chassis. Intelligent multistage battery charging runs your generator less, and prolongs the life of your batteries. Built-in networked communications enables multiple units to be stacked and connected with other OutBack Power electronics providing industry leading integration and near infinite application flexibility. The exclusive modular system architecture means that increased power output is just an additional inverter/charger away.

Our flagship FX series uses a sealed chassis that can operate in the harshest environmental conditions such as high humidity and corrosive salt air. The VFX series uses a vented chassis with “bug proof” screened openings that allow high output AC power in the hottest of operating conditions.

OutBack Power Inverter/Chargers are the only choice when you need a true sinewave, powerful, modular and reliable power solution for your home, business or extreme application



member of The Aljazeera Group™

www.outbackpower.com

FX & VFX Series Specifications

		<i>Sealed Models</i>			<i>Vented Models</i>		
		FX2012T	FX2524T	FX3048T	VFX2812	VFX3524	VFX3648
Nominal DC Input Voltage		12 VDC	24 VDC	48 VDC	12 VDC	24 VDC	48 VDC
Continuous Power Rating at 25° C (77° F)		2000 VA	2500 VA	3000 VA	2800 VA	3500 VA	3600 VA
AC Voltage/Frequency		120 VAC 60 Hz	120 VAC 60 Hz	120 VAC 60 Hz	120 VAC 60 Hz	120 VAC 60 Hz	120 VAC 60 Hz
Continuous AC RMS Output at 25° C (77° F)		17.0 amps AC	20.8 amps AC	25.0 amps AC	23.3 amps AC	29.2 amps AC	30.0 amps AC
Idle Power	Full	~ 20 Watts	~ 20 Watts	~ 23 Watts	~ 20 Watts	~ 20 Watts	~ 23 Watts
	Search	~ 6 Watts	~ 6 Watts	~ 6 Watts	~ 6 Watts	~ 6 Watts	~ 6 Watts
Typical Efficiency		90%	92%	93%	90%	92%	93%
Total Harmonic Distortion	Typical	2%	2%	2%	2%	2%	2%
	Maximum	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Output Voltage Regulation		± 2%	± 2%	± 2%	± 2%	± 2%	± 2%
Maximum Output Current	Peak	56 amps AC	70 amps AC	70 amps AC	56 amps AC	70 amps AC	70 amps AC
	RMS	40 amps AC	50 amps AC	50 amps AC	40 amps AC	50 amps AC	50 amps AC
AC Overload Capability	Surge	4800 VA	6000 VA	6000 VA	4800 VA	6000 VA	6000 VA
	5 Second	4000 VA	4800 VA	4800 VA	4000 VA	5000 VA	5000 VA
	30 Minutes	2500 VA	3200 VA	3200 VA	3200 VA	4000 VA	4000 VA
AC Input Current Maximum		60 amps AC	60 amps AC	60 amps AC	60 amps AC	60 amps AC	60 amps AC
AC Input Voltage Range (MATE Adjustable)		80 to 150 VAC	80 to 150 VAC	80 to 150 VAC	80 to 150 VAC	80 to 150 VAC	80 to 150 VAC
AC Input Frequency Range		54 to 66 Hz	54 to 66 Hz	54 to 66 Hz	54 to 66 Hz	54 to 66 Hz	54 to 66 Hz
DC Input Voltage Range		10.5 to 17.5 VDC	21.0 to 34.0 VDC	42.0 to 68.0 VDC	10.5 to 17.0 VDC	21.0 to 34.0 VDC	42.0 to 68.0 VDC
Continuous Battery Charge Output		80 amps DC	55 amps DC	35 amps DC	125 amps DC	85 amps DC	45 amps DC
Warranty		Standard 5 year Warranty			Standard 5 year Warranty		
Weight	Unit	62.6 lbs (28.4 kg)			61 lbs (27.7 kg)		
	Shipping	67 lbs (30 kg)			64 lbs (29 kg)		
Dimensions (H x W x L)	Unit	13 x 8.25 x 16.25" (33 x 21 x 41 cm)			12 x 8.25 x 16.25" (30 x 21 x 41 cm)		
	Shipping	21.75 x 13 x 22" (55 x 33 x 56 cm)			21.75 x 13 x 22" (55 x 33 x 56 cm)		
Certifications		ETL Listed to UL1741			ETL Listed to UL1741		

*Specifications subject to change without notice



Main Office:
5917 195th St. NE #7
Arlington, WA 98223 USA
Phone: (360) 435.6030
Fax: (360) 435.6019

www.outbackpower.com

Available From:



980-0010-01-00 REV F