

**Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Campus Experimental de Sorocaba
Engenharia de Controle e Automação**

LUIZ GUSTAVO TIBA

**PROJETO DE UM SISTEMA DE ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICO PARA APLICAÇÃO EM RESIDÊNCIA**

Sorocaba
2013

LUIZ GUSTAVO TIBA

**PROJETO DE UM SISTEMA DE ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICO PARA APLICAÇÃO EM RESIDÊNCIA**

Trabalho de Graduação apresentado à
Unesp – Campus Experimental de
Sorocaba, como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do grau de
Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Dr. Galdenoro Botura Junior

Sorocaba
2013

DEDICATÓRIA

Ao meu pai Hamilton Hachiro Tiba e
minha mãe Delma Martins Tiba (in
memoriam) pelo que sou hoje.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Galdenoro, que me apoiou com muita dedicação, presteza e empenho, nos momentos mais delicados para a realização deste trabalho, pois ao longo destes anos, mostrou-me ser um exemplo de conduta, um grande amigo que eu vou me lembrar e espero estar junto em muitos momentos, ao longo da minha vida.

Aos professores que sempre souberam transpor com sensatez e equilíbrio às barreiras encontradas na minha jornada que não foram poucas, sendo assim, um muito obrigado, porque para mim foram professores dedicados e com conhecimento acadêmico inigualável.

Aos funcionários da Universidade Estadual Paulista de Sorocaba pela dedicação amizade e companheirismo.

Agradeço a Deus pela vida, pela força que me dá e me deu em momentos difíceis, dedico este trabalho ao meu pai Hamilton Hachiro Tiba e aos meus irmãos e sobrinhos, por toda dedicação, compreensão e incentivo em todos os momentos. Como também não poderia, jamais, esquecer a minha mãe Delma Martins Tiba que lá no céu, com certeza, está vendo este meu momento, muito feliz.

Aos meus amigos Manoel Dias, Alexandre Hoshii, Rodrigo Bogaciovas, Heitor Mattos, Odilon Vilela, Renato Bin, Diego Henrique Lazarini, Rodrigo Amazonas, Raony Costa, Marco Lolio, Hedio Junior, Marco Reis, César Roveri, Tiago Piteri, Marco Lucas, Pedro Lourenço, Carlos Saraiva e Marcelo Godoy que em vários momentos da minha vida, estiveram sempre unidos em torno de objetivos nobres e de amizade verdadeira que são difíceis de conquistar e com certeza continuaremos amigos ao longo de toda a minha vida.

A TODOS, O MEU MAIS SINCERO E PROFUNDO AGRADECIMENTO!

RESUMO

O projeto proposto neste trabalho, apresenta um sistema de energia solar fotovoltaica que pode funcionar tanto isolado, como conectado à rede elétrica para aplicação em residência com consumo de até 200 KWh/mês. Assim, para viabilizar a integração destes sistemas, foi necessário desenvolver um controlador de carga On/Off, já que não foram encontrados no mercado equipamentos para realizar esta função. Pois, apesar de integrar os sistemas, o principal objetivo do desenvolvimento deste controlador foi buscar a viabilização econômica destes e o desenvolvimento sustentável dentro do Brasil, por meio de uma rede inteligente de gerenciamento de energia, informando ao usuário o momento ideal que poderá utilizar os equipamentos existentes em sua residência gerando economia. Sendo assim, foi projetado um controlador para priorizar o carregamento das baterias que foram dimensionadas para atender as cargas de baixo consumo da residência, fazendo com que este trabalhasse isoladamente, pois as de alto consumo inviabilizam sistemas isolados por necessitarem de baterias. Garantindo assim, ao usuário, o uso desta energia gerada nos horários de pico, o que possibilitará uma economia maior, assim como o alívio da rede elétrica de energia. Para compensar o seu elevado custo de investimento para a instalação do sistema dimensionado, foi implantado um protótipo de menor custo para ensaios, obtendo através de testes, a comprovação do seu funcionamento, se mostrando dentro das especificações propostas. Foram realizados estudos da viabilidade econômica do sistema dimensionado, visto que as políticas de incentivos e desenvolvimento tecnológico relacionado a estes sistemas ainda são precários no Brasil, o que ocasiona no alto custo de sua implantação.

Palavras-Chave: energia solar; sistemas fotovoltaicos isolados; controlador de carga On/Off; rede inteligente; sustentabilidade.

ABSTRACT

The aim in this work is to present a system of a photovoltaic solar energy that can operate both isolated, and connected to the grid for use in residence consuming up to 200 kWh / month. Thus, to facilitate the integration of these systems, it was necessary to develop a charge controller On / Off, since they were not found in the market a equipment to perform this function. For despite integrate systems, the main objective of developing this driver fetched the economic viability of these and a sustainable development in Brazil, through a network of intelligent power management informing the user the right time you can use the equipment existing in your residence generating economy. Therefore, a controller is designed to prioritize charging the batteries that were designed to meet the low power loads of the residence, causing it to work alone because of the high consumption unfeasible isolated systems because they require batteries. Thus ensuring the user, the use of this energy generated during peak hours, which will allow a larger economy, as well as relief from the mains power. To offset the high cost of investment for the installation of the system scales, was implemented a prototype lowest cost for testing, getting through testing, verification of its operation, is showing within the proposed specification. Studies have been conducted of the economic viability of the system scales, since the incentive policies and technological development related to these systems are still limited in Brazil, which causes the high cost of its implementation.

Keywords: solar energy, stand-alone photovoltaic systems; charge controller On / Off; smart grid, sustainability.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - POTENCIALIDADE DE UTILIZAÇÃO DE ENERGIA SOLAR NO PLANETA TERRA	11
FIGURA 2 - DISTRIBUIÇÃO DA LATITUDE NO TERRITÓRIO BRASILEIRO	12
FIGURA 3 - SISTEMA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E SEUS COMPONENTES ...	15
FIGURA 4 – CONFIGURAÇÕES BÁSICAS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ISOLADOS...	16
FIGURA 5 – SISTEMAS INTERLIGADOS À REDE COM (A) INTERCÂMBIO DE ENERGIA E (B) APENAS VENDA DE ENERGIA	17
FIGURA 6 – CÉLULA SOLAR.....	23
FIGURA 7 – EFEITO FOTOVOLTAICO	24
FIGURA 8 – MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DE SILÍCIO (A) MONOCRISTALINO (B) POLICRISTALINO E (C) AMORFO.....	25
FIGURA 9 - ASSOCIAÇÃO DE CÉLULAS EM PARALELO.....	25
FIGURA 10 - ASSOCIAÇÃO DAS CÉLULAS EM SÉRIE	25
FIGURA 11 - DIODO DE BLOQUEIO	26
FIGURA 12 – ILUSTRAÇÃO DE UM INVERSOR.....	27
FIGURA 13 - TIPOS DE FORMAS DE ONDA UTILIZADAS EM INVERSORES	28
FIGURA 14 - MODELOS DE INVERSORES DISPONÍVEIS COMERCIALMENTE.....	28
FIGURA 15 – NÚMERO DE CICLOS EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE DE DESCARGA PARA DOIS MODELOS DE BATERIA DE CHUMBO-ÁCIDO.....	33
FIGURA 16 – MODELOS COMERCIAIS DE BATERIAS (A) AUTOMOTIVAS, (B) ESTACIONÁRIAS E (C) FOTOVOLTAICAS.....	33
FIGURA 17 – CONFIGURAÇÃO SÉRIE COM CHAVES NAS CONEXÕES 1 (CONTROLE DE CARREGAMENTO DA BATERIA) E 2 (CONTROLE DE DESCARGA DA BATERIA)	34
FIGURA 18 – HISTERESES DE CONTROLE ON/OFF PARA CONTROLADORES EM SÉRIE	35
FIGURA 19 – HISTERESE DO CONTROLE PREVENTIVO DE SOBRECARGA PARA CONTROLADORES SÉRIE	35
FIGURA 20 - FLUXOGRAMA DO SISTEMA ISOLADO/CONECTADO À REDE PROJETADO	39
FIGURA 21 - DIAGRAMA DE BLOCOS DO CONTROLADOR PROJETADO	41
FIGURA 22 – LIGAÇÃO DAS BATERIAS.....	46
FIGURA 23 – LIGAÇÃO DOS PAINÉIS.....	50
FIGURA 24 – DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO SISTEMA COM O CONTROLADOR DE CARGA DO TIPO ON/OFF PROJETADO.....	55
FIGURA 25- PINAGEM DO PIC16F877.....	55
FIGURA 26 – TESTE DO BLOCO DE ALIMENTAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE REALIZADO NO PROTEUS.....	56
FIGURA 27 – MONTAGEM DO CRISTAL.....	58
FIGURA 28 – MONTAGEM DO TRIMPOT E DO RESISTOR EM SÉRIE COM A BATERIA. .	58
FIGURA 29 - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO CONTROLADOR ON/OFF.	64
FIGURA 30 – ESTADO DE CARREGAMENTO COM TENSÃO DE 13,1V, CHAVE 1 ACIONADA.....	67

FIGURA 31 – ESTADO DE CARREGAMENTO COM TENSÃO DE 13,2V, CHAVE 1 E 2 ACIONADA.....	67
FIGURA 32 – ESTADO DE CARREGAMENTO COM TENSÃO DE 14,3V, CHAVE 2 E 3 ACIONADA.....	68
FIGURA 33 – ESTADO DE DESCARREGAMENTO COM TENSÃO DE 13,8V, CHAVE 1 E 2 ACIONADA.....	68
FIGURA 34 – ESTADO DE DESCARREGAMENTO COM TENSÃO DE 11,7V, CHAVE 1 ACIONADA.....	69
FIGURA 35 – PROTÓTIPO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO MONTADO PARA TESTES.....	69
FIGURA 36 - VALORES DE TENSÃO NA BATERIA X TEMPO COLETADOS NO TESTE DE AUTONOMIA DO PROTÓTIPO.	71
FIGURA 37 – DETALHES DE FATURAMENTO DA CONTA DE UM CONSUMIDOR RESIDENTE EM SÃO JOSÉ DOS CAMPOS.....	74

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – RELAÇÃO DE CONSUMO DOS EQUIPAMENTOS DE BAIXO CONSUMO DA RESIDÊNCIA EM W/DIA	39
TABELA 2 – RELAÇÃO DA POTÊNCIA REAL PARA A ESCOLHA DOS INVERSORES DO SISTEMA.....	43
TABELA 3 – ESPECIFICAÇÃO DOS INVERSORES DO SISTEMA.....	43
TABELA 4 - ÂNGULOS DE INCLINAÇÃO DO PAINEL PELA LATITUDE.....	51
TABELA 5 – RELAÇÃO DE CONSUMO EM WATTS PARA O PROTÓTIPO.....	52
TABELA 6 – SETPOINTS DO CONTROLADOR ON/OFF.....	57
TABELA 7 – SETPOINTS DO CONTROLADOR ON/OFF DIVIDIDOS PELO FATOR 3.....	59
TABELA 8 – SETPOINTS DO CONTROLADOR ON/OFF PARA CONVERSÃO ANALÓGICA/DIGITAL.....	59
TABELA 9 – LÓGICA UTILIZADA PARA O CONTROLE DO SISTEMA FOTOVOLTAICO FUNCIONANDO COMO ISOLADO	59
TABELA 10 – LÓGICA UTILIZADA PARA O CONTROLE DO SISTEMA FOTOVOLTAICO FUNCIONANDO POR COMPLETO.....	61
TABELA 11 – LÓGICA UTILIZADA PARA O CONTROLE DAS CHAVE 1 E 3.	62
TABELA 12 – SETPOINTS E ESTADOS DE ATUAÇÃO DAS CHAVES DA SIMULAÇÃO DO CONTROLADOR.....	65
TABELA 13 - VALORES DOS SETPOINTS DO CONTROLADOR ON/OFF PROJETADO X TEÓRICOS.....	66
TABELA 14 – VALORES DA POTÊNCIA ENTREGUE PELO CONTROLADOR A BATERIA.....	70
TABELA 15 – RELAÇÃO DO VALOR TOTAL DOS EQUIPAMENTOS DO SISTEMA.....	72
TABELA 16 – RELAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DO SISTEMA EM 30 ANOS COM VALOR DE CUSTO.....	73
TABELA 17 – RELAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DO SISTEMA COM VALOR DE CUSTO.....	75
TABELA 18 – RELAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DO SISTEMA EM 30 ANOS E OS CUSTOS..	76
TABELA 19 – RELAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DO SISTEMA COM VALOR DE CUSTO.....	77
TABELA 20 – RELAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DO SISTEMA EM 30 ANOS COM VALOR DE CUSTO.....	78

SUMÁRIO

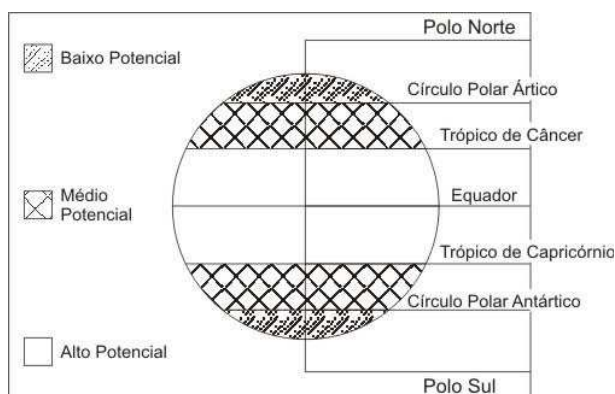
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE ENERGIA	14
1.2 VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	18
1.3 TRABALHOS RELACIONADOS.....	19
1.4 OBJETIVOS	22
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
2.1 GERADOR FOTOVOLTAICO	23
2.2 INVERSOR	26
2.3 ACUMULADOR DE ENERGIA.....	30
2.4 CONTROLADOR DE CARGA	34
2.5 REDES INTELIGENTES (SMART-GRID)	36
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
3.1 ESPECIFICAÇÕES DO SISTEMA PROPOSTO.....	38
3.2 DIMENSIONAMENTO E PROJETO DO SISTEMA.....	39
3.3 IMPLEMENTAÇÃO	51
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	65
4.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
5 CONCLUSÃO	79
6 REFERÊNCIAS	80
APÊNDICE A - CONTROLADOR ON/OFF EM ASSEMBLY	86

1 INTRODUÇÃO

Segundo os cientistas, estima-se que o sol existe há aproximadamente quatro bilhões e quinhentos milhões de anos e segundo a estimativa encontra-se, atualmente, com a metade de sua vida. Ele fornece a terra em uma hora, uma quantidade de energia superior ao que se consome aqui durante um ano, e tem a vantagem de ser uma energia gratuita e sem poluente (WIKIPÉDIA, 2013).

O potencial de energia solar incidente sobre a Terra varia de acordo com a localização no globo terrestre e em uma análise simplificada, as regiões polares são consideradas de baixo potencial, as regiões localizadas entre os círculos polares e os trópicos de médio potencial e as regiões entre as linhas tropicais são consideradas regiões de maior aproveitamento da incidência solar conforme mostra a figura 1.

Figura 1 - Potencialidade de utilização de energia solar no planeta Terra



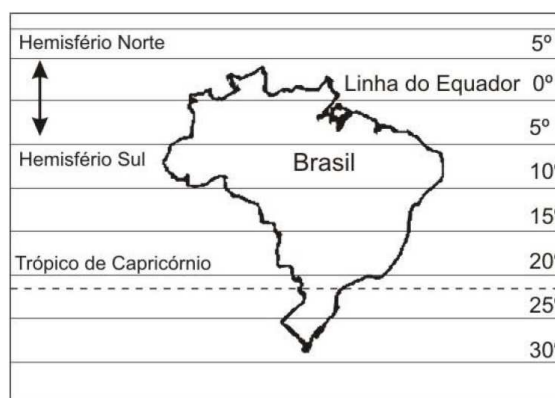
Fonte: Adaptada de Rosa e Filho (2007)

De acordo com as regiões geográficas, a duração solar diária pode ir de 0 a 24 horas, mas as variações mais bruscas ocorrem nas regiões polares e nos períodos de solstício e diferentemente ocorrem nas regiões mais próximas à linha do Equador e durante os equinócios.

O Brasil é um país que está localizado relativamente próximo à linha do equador, com grandes variações na duração solar do dia, sendo que as regiões do Brasil onde a maior parte da população está concentrada ficam a uma maior distância do Equador. A cidade de Porto Alegre (cerca de 30°S), entre as capitais do estado brasileiro, é a que fica mais longe do Equador. Ali a duração solar do dia varia de 10 horas e 30 minutos a 13 horas e 47 minutos aproximadamente, entre 21 de junho e 22 de dezembro, respectivamente (ANEEL, 2013).

O território brasileiro está localizado em sua maior parte, na região de alto potencial de energia solar, conforme mostrado na figura 2. Seu território se estende desde 5° norte até 32° sul, com grande destaque a região nordeste do país, 3° norte e 13° sul (ANEEL, 2013).

Figura 2 - Distribuição da latitude no território brasileiro



Fonte: Adaptada de Rosa e Filho (2007)

A energia sob a forma de radiação eletromagnética como a do sol é a origem de todas as formas de energia, pois mesmo os combustíveis fósseis se utilizaram em sua formação.

A primeira vez que foi verificada a conversão de energia solar em energia elétrica, ocorreu em 1839 (BECQUEREL, 1839), quando o cientista francês Edmond Becquerel constatou em seus experimentos que placas metálicas, de platina ou prata, mergulhadas num eletrólito produziam uma diferença de potencial quando expostas à luz.

Em 1877, W. G. Adams e R. E. Day, inventores americanos, utilizaram as propriedades de células fotocondutoras do selênio para desenvolver o primeiro dispositivo sólido de produção de eletricidade por exposição à luz, possuindo uma baixa eficiência de conversão, da ordem de 0,5% (ADAMS, DAY, 1877). No final do século XIX, o engenheiro Werner Siemens comercializou células de selênio como fotômetros para máquinas fotográficas.

Neste contexto, a história fotovoltaica esperou grandes desenvolvimentos científicos ocorridos na primeira metade do século XX, entre eles a explicação do efeito fotoelétrico feito por Albert Einstein em 1905, a teoria de bandas e a física dos semicondutores e, enfim, as técnicas de purificação e dopagem associadas ao

desenvolvimento do transistor de silício. Esta situação mostra que sem a ciência moderna, seria teoricamente impossível o desenvolvimento da energia solar elétrica.

Logo, a história da primeira célula solar começou em março de 1953, quando Calvin Fuller, um químico dos Bell Laboratories, em Murray Hill, New Jersey, nos Estados Unidos da América, desenvolveu um processo de difusão para introduzir impurezas em cristais de silício, de modo a controlar as suas propriedades elétricas (processo chamado dopagem) e, assim, produzir uma barra de silício com uma pequena concentração de gálio, que o torna condutor (tipo “p”).

Dessa forma seguindo as instruções de Fuller, o físico Gerald Pearson mergulhou esta barra de silício dopado num banho quente de lítio, criando na superfície dela uma zona com excesso de elétrons livres (tipo “n”). Nesta região onde o silício tipo “n” fica em contato com o silício tipo “p” (junção “p-n”) surge um campo elétrico permanente. Após este experimento, Pearson verificou que a amostra produzia corrente elétrica quando exposta à luz, originando a primeira célula solar de silício. A eficiência inicial da placa era da ordem de 4%. Com a dificuldade de soldar contatos elétricos ao material eles experimentaram fazer a dopagem do silício com fósforo, conseguindo uma junção p-n mais estável. Substituíram por fim o gálio por arsênio, seguido por uma difusão de boro, assim as novas células podiam ser facilmente soldadas e atingiram uma eficiência de 6% (CHAPIN et al., 1954).

Com os resultados obtidos e depois do Pentágono ter autorizado a sua publicação, a célula solar foi apresentada na reunião anual da National Academy of Sciences, em Washington, e anunciada numa conferência de imprensa no dia 25 de abril de 1954 (PEARSON, 1954), assim, seus resultados foram publicados no Journal of Applied Physics e registrada, enfim, uma patente.

A primeira aplicação das células solares foi para alimentar uma rede telefônica local. No entanto, foi logo compreendido que as células solares tinham um custo demasiadamente elevado, sendo aplicadas apenas em casos muito específicos, como, por exemplo, para produzir eletricidade no espaço.

O desenvolvimento de células solares cada vez mais eficientes para utilização no espaço levou a alguns avanços tecnológicos importantes na década de 60, como a redução da resistência e a “célula violeta” que chegava a uma eficiência de 13,5% (MANDELKORN, LAMNECK, 1972).

O pânico criado pela crise petrolífera em 1973 levou a um súbito investimento em programas de investigação para reduzir o custo de produção das células solares. O

resultado de todos os avanços por causa desta crise foi a redução do custo da energia solar.

As décadas de oitenta e noventa foram marcadas por um maior investimento em programas de financiamento e de demonstração motivados, sobretudo, pela consciência crescente da ameaça das alterações climáticas devido à queima de combustíveis fósseis.

Em 1998, foi atingida a eficiência recorde de 24,7% (SCHULTZ, et al., 2004), com células de silício monocristalino, células com configurações mais complexas que permitem atingir rendimentos de conversão superiores a 34% (VIAUD, et al, 2004).

Assim, a exploração intensa das reservas esgotáveis de combustíveis fósseis e os danos causados ao meio ambiente apresentaram um cenário preocupante para o próximo século, levando vários países a investirem nas aplicações da energia solar para viabilizar, em termos técnicos e econômicos, o máximo aproveitamento dessa energia.

Dentre as fontes renováveis, a energia solar tem em suas tecnologias de geração envolvidas em satisfazer as premissas de preservação ambiental, bem como para atender cargas isoladas. Assim, pode se dizer que sistemas, utilizando a energia solar para geração, já são realidade no mundo e no Brasil, sendo ainda alvo de diversos estudos que visam à melhoria da eficiência para melhorar a relação custo benefício.

A energia solar pode ser aproveitada diretamente para gerar energia elétrica de diferentes formas, baseadas em diferentes princípios físicos:

- Aproveitamento de calor da irradiação solar para aquecimento de água e geração de energia elétrica em usinas térmicas a vapor;
- Aproveitamento do calor da irradiação solar para a formação “artificial” de ventos (torres solares);
- Aproveitamento do aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção de luz (efeito fotovoltaico).

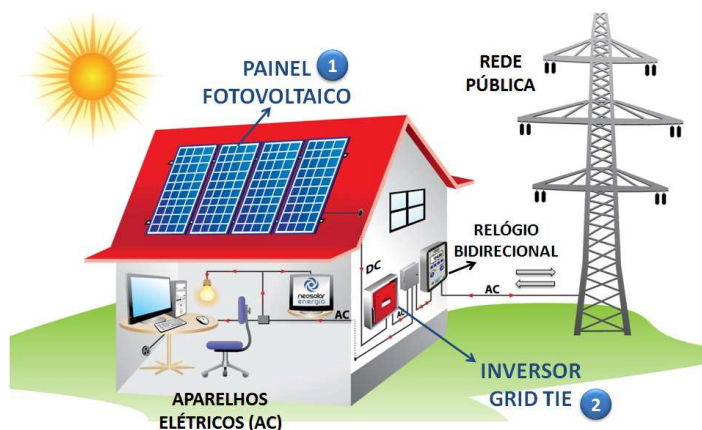
1.1 Sistemas Fotovoltaicos de Energia

Um sistema solar fotovoltaico é aquele que, através do efeito fotovoltaico, é capaz de converter luz do sol diretamente em energia elétrica.

Um sistema de geração de energia fotovoltaico apresentado na figura 3, tem quatro componentes básicos (NEOSOLAR, 2013):

- Painéis solares – São responsáveis por transformar energia solar em eletricidade;
- Controladores de carga – Servem para evitar sobrecargas ou descargas exageradas na bateria, aumentando sua vida útil e desempenho;
- Inversores – Responsáveis por transformar os 12 V de corrente contínua (CC) das baterias em 110 ou 220 V de corrente alternada (AC), ou outra tensão desejada. Se forem sistemas conectados à rede, também são responsáveis pela sincronia com a rede elétrica;
- Baterias – Armazenam a energia elétrica para que o sistema possa ser utilizado quando não há sol.

Figura 3 - Sistema de energia solar fotovoltaica e seus componentes



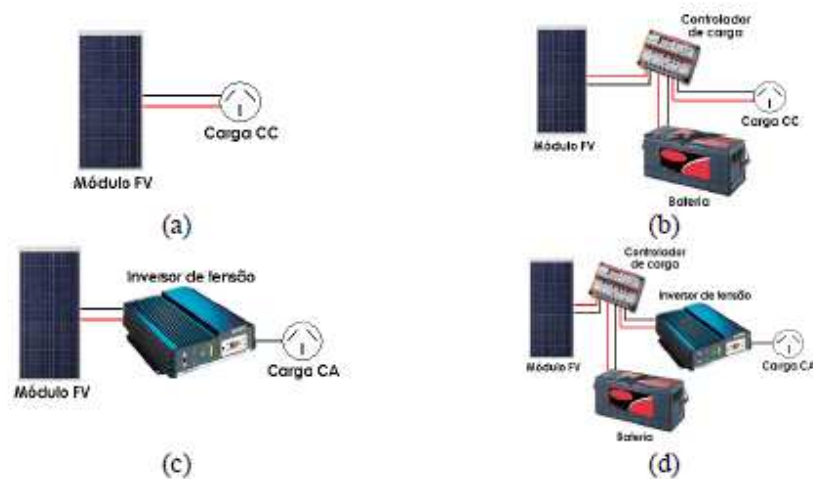
Fonte: Adaptada de Neosolar (2013)

Quanto às topologias utilizadas no fornecimento de energia, esses sistemas podem ser classificados como isolados ou conectados à rede.

Os sistemas isolados são utilizados em locais que não são atendidos por redes elétricas convencionais ou onde o custo para se conectar a rede elétrica é elevado, enquanto que os sistemas conectados à rede são utilizados para venda ou complementação da energia elétrica convencional disponível na rede elétrica.

Um sistema fotovoltaico isolado apresenta várias configurações, dependendo do tipo de carga a ser atendida, CC ou CA, do regime de utilização da carga e do grau de confiabilidade do sistema. A figura 4 apresenta quatro configurações básicas utilizadas em sistemas fotovoltaicos isolados.

Figura 4 – Configurações básicas de sistemas fotovoltaicos isolados



Fonte: Adaptada de Macedo et al. (2002)

A figura 4a mostra o gerador fotovoltaico conectado a uma carga CC. É uma configuração mais simples e o fornecimento de energia depende da disponibilidade da incidência solar, para o funcionamento do sistema, caso contrário, o sistema deixará de produzir a energia.

A configuração da figura 4b contempla a utilização de um subsistema de armazenamento para aumentar a disponibilidade de fornecimento de energia mesmo após o término da insolação. Neste caso, é necessária a utilização de um controlador de carga para evitar a sobrecarga e descarga profunda, o que garante maior vida útil do acumulador eletroquímico (as baterias). A não utilização do inversor reduz custos, facilita a operação e manutenção. Assim, a maior desvantagem dessa configuração é a falta de disponibilidade de cargas em CC, sendo essa configuração bastante empregada em sistemas que atendem pequenas demandas de eletricidade, como em sistemas de iluminação.

A configuração da figura 4c é semelhante a da figura 4a, com a diferença da utilização de um inversor para o atendimento de cargas em CA.

Por fim, a configuração da figura 4d possui um subsistema de armazenamento e conversão CC/CA. Mesmo tendo um custo mais elevado esta configuração é a mais utilizada, pois tem boa confiabilidade, corretamente dimensionada é capaz de atender a maioria das cargas disponíveis comercialmente.

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede podem ser chamados de interligados e são aqueles cuja energia gerada pelo gerador fotovoltaico é entregue a uma rede

elétrica qualquer que já possua fonte primária de geração, a qual pode ser hidráulica, térmica, nuclear, etc (MACEDO et al., 2002).

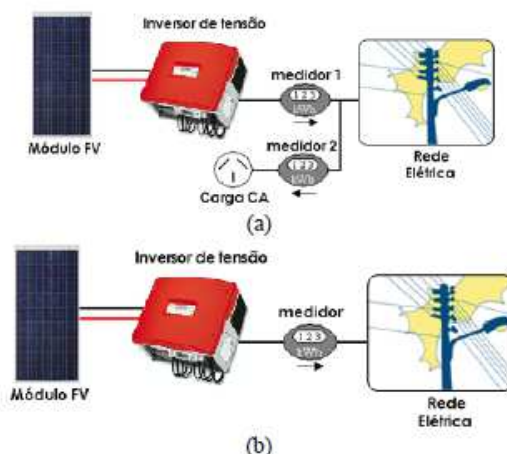
Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede têm duas finalidades fundamentais. Uma delas é o intercâmbio de energia, ou seja, o sistema fotovoltaico produz energia para uma carga local e o excedente é entregue à rede visando geralmente à obtenção de lucros com a venda de energia. Quando a produção não é suficiente para atender a carga local, a rede ajuda ou supre toda a energia necessária à carga, funcionando como um sistema de backup. Nesses sistemas, pode-se utilizar um banco de baterias, o que não é normalmente observado, para prover uma maior estabilidade.

Outra finalidade muito importante é a venda de energia, com o sistema fotovoltaico injetando energia na rede elétrica, reduzindo as perdas na transmissão e a concentração da produção energética.

Enquanto um sistema isolado necessita dos quatro (4) componentes, um sistema conectado à rede somente precisa dos painéis e inversores.

A Figura 5 apresenta apenas duas das diversas configurações que sistemas fotovoltaicos interligados à rede podem apresentar. Na configuração (a), onde há o intercâmbio de energia, necessita-se de um medidor bidirecional ou de dois unidirecionais, a fim de quantificar a energia líquida que foi fornecida à rede pelo gerador fotovoltaico. Já a configuração (b) apresenta apenas um medidor, pois visa somente à venda de energia,

Figura 5 – Sistemas interligados à rede com (a) intercâmbio de energia e (b) apenas venda de energia



Fonte: Adaptada de Macedo et al. (2002)

O sistema conectado à rede necessita de cuidados a mais do que o isolado, em relação à qualidade de energia e a proteção da rede elétrica à qual está conectado. Nesse caso, o inversor de um sistema conectado à rede deve possuir onda senoidal, para permitir a operação em sincronismo com a rede e evitar a operação em ilha (ilhamento), etc.

Esse sistema é totalmente dependente da rede elétrica, isto é, não funciona se não houver eletricidade, evitando assim que o sistema provoque acidente caso a concessionária de energia elétrica esteja fazendo manutenção na rede, ou quando a energia da distribuidora for desligada (queda de energia) ou quando o inversor de frequência parar de injetar eletricidade, e na volta injetar alguns minutos depois da energia voltar (BLUESOL, 2013).

1.2 Viabilidade Econômica de Sistemas Fotovoltaicos

Atualmente, os investimentos em sistemas fotovoltaicos tiveram um aumento significativo especialmente na América do Norte, Europa e Ásia. Devido ao desenvolvimento tecnológico e políticas de incentivo a energia fotovoltaica está se tornando uma das principais alternativas para a produção energética (JANNUZZI et al., 2009).

Apesar dos incentivos serem mínimos no Brasil, a viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos poderá acontecer num futuro próximo, por causa dos avanços tecnológicos e da concorrência no seu mercado em crescimento.

Assim, o estudo da viabilidade de implantação da energia solar no Brasil é de extrema importância nos tempos atuais.

No caso do consumidor residencial, esse estudo pode ser realizado analisando a variação dos níveis de radiação solar, dos valores de tarifas de energia elétrica cobradas pelas concessionárias de energia elétrica e pela aplicação de mecanismos de incentivo que o Brasil vem adotando, para determinar o valor da probabilidade de economia que o sistema pode gerar num certo período.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) aprovou, em 07 de agosto de 2012, a resolução que regulamenta os requisitos básicos para os sistemas de medição eletrônica de energia elétrica de unidades consumidoras do Grupo B, não valendo para a

iluminação pública e os consumidores de baixa renda, o que representa um passo importante para a implantação das redes elétricas inteligentes no Brasil.

Com o novo regulamento, as distribuidoras terão 18 meses para oferecer os medidores eletrônicos aos consumidores. A proposta da ANEEL estabelece ainda dois tipos de medidores, um deles, a ser instalado sem ônus, será fornecido no caso do usuário aderir à modalidade tarifária branca aprovada pela ANEEL em 22 de novembro de 2011. Caso o consumidor não pretenda modificar seus hábitos de consumo, a tarifa convencional continuará disponível.

Entretanto, a tarifa branca somente começará a valer quando as distribuidoras substituírem os medidores eletromecânicos de energia pelos eletrônicos, cuja a tarifa varia de acordo com faixas horárias de consumo, como por exemplo, entre 18 e 21 horas, quando o consumo de energia elétrica é muito mais alto do que nos outros horários.

O outro modelo, mais completo, oferecerá acesso às informações específicas individualizadas sobre o serviço prestado, além da instalação ser cobrada pela distribuidora. Em ambos os casos, a instalação do medidor ocorrerá por solicitação do consumidor (ANEEL, 2012).

Os medidores eletrônicos permitirão acompanhar o consumo em tempo real, configurar metas, elaborar estimativas de consumo e aqueles que gastarem mais energia fora dos horários de pico, pagarão menos. A conta poderá cair pela metade, tendo uma economia de 50%, se o uso for de madrugada, de manhã e no início da tarde. Em compensação, o kWh ficará cinco vezes mais caro nos momentos de maior consumo. Nas faixas intermediárias, o preço será multiplicado por três (ANEEL, 2012).

1.3 Trabalhos Relacionados

Trabalhos relacionados com a energia fotovoltaica são publicados na literatura com frequência, como o de um sistema fotovoltaico para uma casa sem energia elétrica (SERRÃO, 2010), onde se utiliza painéis de 20 W, considerando as necessidades de iluminação e as diversas cargas de alta eficiência e baixo consumo de energia que poderão ser conectadas no sistema (aparelho de som, computador, carregador de celular, etc.).

Contudo, é possível utilizar equipamentos mais econômicos que os convencionais em sistemas fotovoltaicos, obtendo uma boa eficiência e funcionalidade.

Para tanto, foi desenvolvido um programa que determina as configurações de sistemas fotovoltaicos autônomos capazes de produzir uma determinada carga de energia elétrica com um risco de déficit conhecido (OLIVEIRA, 1997). Esse programa pode ser utilizado como uma ferramenta para auxiliar no processo de escolha da configuração que estabeleça a melhor relação custo benefício para uma determinada instalação fotovoltaica.

Um projeto de um sistema de energia elétrica a partir das células fotovoltaicas (GUZZO, 2008) consiste na determinação da quantidade necessária de módulos (painéis) para atender a uma determinada demanda de carga elétrica, porém sem se preocupar com a viabilidade econômica da instalação de um sistema fotovoltaico. Resumindo, pode-se concluir que painéis ainda não atingem rendimentos que se justifiquem e o mercado tem dificuldades em suprir as necessidades de projetos de potências mais elevadas.

Um trabalho relacionado que apresenta as principais análises e cálculos, efetuados para dimensionamentos mais precisos do projeto fotovoltaico (LEVA et al., 2004), mostra também que o projetista deve ser criterioso na especificação dos equipamentos para garantir um projeto econômico e funcional.

O dimensionamento de um sistema fotovoltaico isolado para um edifício (PEREIRA, 2012), demonstrou que ainda não é viável a implantação de sistemas autônomos em locais atendidos pela rede elétrica. De uma forma subjetiva, conclui que sistemas conectados à rede, para uma produção de 5 kWh, vem se mostrando economicamente viável em algumas regiões do país.

Sistemas fotovoltaicos autônomos são ainda utilizados em áreas urbanas para conforto de seus usuários, como por exemplo, em blecautes para abertura e fechamento de portões elétricos e em iluminação (BRUM, 2013).

Trabalhos sobre o desenvolvimento e implementação de seguidores solares (FARICELLI, 2008), (ARAÚJO, 2012), (ALVES, 2008), vêm mostrando que sistemas fotovoltaicos ficam mais eficientes, permitindo aos painéis gerar mais energia, já que nas instalações convencionais não se tem o melhor aproveitamento da energia do sol durante o dia por serem fixos.

A busca por painéis fotovoltaicos mais eficientes e com custos menores também vem sendo pesquisada, como no uso de filmes finos de semi-condutores (ARAÚJO, 2013), (Ly, 2007). A vantagem de utilizar esses filmes é a de reduzir a quantidade de materiais necessários para a produção de painéis, bem como o seu custo buscando

maiores eficiências das células solares de filme fino, com custos menores quando comparadas com as células tradicionais de silício cristalino.

A avaliação e comparação de estratégias de controle como a On/Off e PWM (NETO et al., 2009), (OLIVEIRA, 2005), relacionadas aos sistemas fotovoltaicos, a fim de garantir uma vida útil maior para as baterias automotivas, vêm sendo realizadas, mas nenhuma demonstra alguma influência direta na vida útil das baterias.

Os resultados demonstraram que os dois modelos (NETO et al., 2009) com controle baseado em amplificadores operacionais estavam adequados ao uso em sistemas fotovoltaicos autônomos. Durante esses testes, pretendia-se utilizar um inversor para a conexão de uma carga em 127 V. No entanto, pode-se concluir que sinais CA indesejada, provenientes do chaveamento do inversor, foram introduzidos no bloco de controle, influenciando nos setpoints.

Estudos foram feitos, ainda, em relação aos controladores de cargas existentes no mercado nacional. Estes não apresentam ajustes corretos para quando as baterias automotivas estão com profundidade de descarga máxima, ou seja, não realizam a sua função de proteger a bateria de descargas profundas (OLIVEIRA, 2005).

Trabalhos relacionados a inversores para sistemas fotovoltaicos isolados vêm sendo apresentados como o de processamento distribuído da energia baseada em conversores CC-CC conectados em série (IMHOFF, 2007), que conseguiu um melhor aproveitamento da energia gerada.

Um inversor com valor reduzido, para geração de onda quadrada, aplicado à iluminação pública, sendo atraente para implementação em escala, face aos custos associados e a sua robustez, foi utilizado na referência (SILVA, 2009).

A bateria é fundamental nos sistemas isolados de energia solar fotovoltaica, pois armazena a energia produzida pelos painéis, garantindo o fornecimento constante, mesmo em dias de baixa geração. É um dos componentes com valores mais elevados, responsável direto por tornar a implementação de um sistema fotovoltaico isolado inviável e, mesmo assim, é o componente menos estudado.

A referência (WESCHENFELDER, 2013) relata o trabalho cujo objetivo era a melhoria das baterias chumbo ácido utilizadas em sistema isolados, aumentando sua autonomia e a vida útil. Para isso, o processo de fabricação do eletrodo foi modificado: utilizou-se a metalurgia do pó, que é um processo com baixo impacto ambiental por não ser poluente e por exigir uma baixa energia de transformação do material. Concluiu-se

que é possível chegar a uma topologia de bateria mais viável para aplicação em sistemas isolados de geração de energia.

O principal problema com o sistema com base em fotovoltaica é prever a produção de energia. Esta complexidade de previsão é devido ao comportamento errático do tempo. Em (CAMARGO et al., 2013) foi dimensionado um sistema fotovoltaico isolado, baseado nos níveis de insolação para o Estado de São Paulo, segundo os dados coletados no período de um ano. Foi concluído que a incidência de radiação é menor no inverno devido à inclinação do planeta em relação ao Sol, porém é compensada pelo número muito baixo de dias com chuva e, conseqüentemente, nublados. O número de dias nublados consecutivos não passou de três, permitindo que o sistema fotovoltaico necessite de um sistema de armazenamento menor.

1.4 Objetivos

O objetivo desse trabalho consiste no desenvolvimento de dois sistemas de energia solar fotovoltaica, um isolado e outro conectado à rede para alimentar equipamentos existentes em uma residência, usando controlador de carga de baixa complexidade, do tipo On/Off e microcontrolado, contemplando a criação de uma rede inteligente de gerenciamento de energia produzida pelo sistema, evitando a sobrecarga e aumentando a sua eficiência.

Encontra, ainda, no âmbito deste projeto, a análise econômica do sistema desenvolvido, levando em consideração possíveis incentivos tarifários do governo federal.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão abordados os conceitos básicos fundamentais para o dimensionamento e o desenvolvimento do projeto. Serão apresentadas, a seguir, a descrição de funcionamento e as características dos equipamentos que compõem os sistemas fotovoltaicos.

2.1 Gerador Fotovoltaico

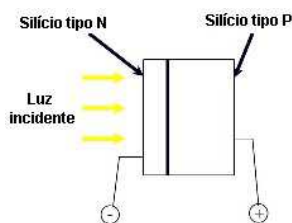
O gerador fotovoltaico é o equipamento que converte a energia solar em energia elétrica a partir do efeito fotovoltaico. Na prática, um módulo fotovoltaico é constituído de diversas células fotovoltaicas associadas, enquanto que o gerador fotovoltaico depende da carga que se deseja atender a partir de associação de vários módulos.

As células fotovoltaicas são fabricadas com material semicondutor, ou seja, material com características entre um condutor e um isolante. Para sua fabricação, a maioria utiliza o silício, encontrado normalmente como areia, que é tratada por método adequado para obter o silício em forma pura.

Sabendo que o cristal de silício puro não possui elétrons livres, por ser um mau condutor elétrico, pode ser acrescentada uma porcentagem de outros elementos, em um processo chamado de dopagem, para liberar os elétrons. Nesse processo, a dopagem do silício com o fósforo, resulta em um material com elétrons livres ou materiais com portadores de carga negativa (silício tipo N). Da dopagem com o Boro, obtém-se um material com características inversas, ou seja, com cargas positivas livres (silício tipo P).

Assim, cada célula solar é constituída de uma fina camada de material tipo N e de outra, de maior espessura, de material tipo P, conforme apresentada na Figura 6 :

Figura 6 – Célula Solar

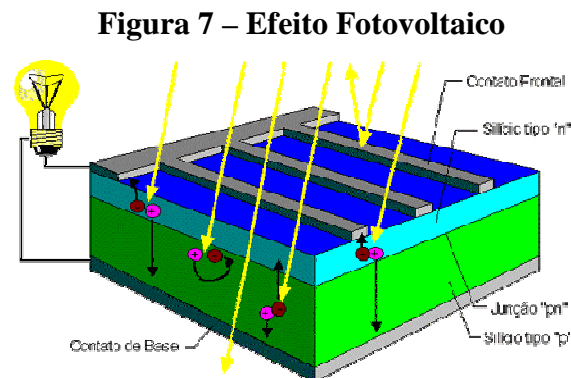


Fonte: Adaptada de Martins et al. (2013)

As células solares separadas são eletricamente neutras, mas ao serem unidas, na região P-N, forma-se um campo elétrico, devido aos elétrons livres do silício tipo N, que ocupam os vazios da estrutura do silício tipo P, sendo assim chamado de junção PN. Nessa junção, os elétrons livres do lado N passam para o lado P, onde encontram os “buracos” que os capturam; isto faz com que exista um acúmulo de elétrons no lado P, tornando-o negativamente carregado, e uma redução de elétrons do lado N, tornando-o eletricamente positivo.

Ao incidir luz sobre a célula fotovoltaica, ligando a camada negativa à positiva com um fio condutor, ocorre um fluxo de elétrons (corrente elétrica), ou seja, os fótons chocam-se com outros elétrons da estrutura do silício, fornecendo-lhes energia e transformando-os em condutores. Deste modo, no campo elétrico gerado pela junção P-N, os elétrons são orientados e fluem da camada “P” para a camada “N”.

Esta intensidade de corrente elétrica gerada pela célula varia na mesma proporção da intensidade da luz incidente nela. Embora ela não armazene energia, mantém um fluxo de elétrons enquanto houver incidência de luz. Esse fenômeno é denominado “Efeito fotovoltaico”, conforme mostra a figura 7.



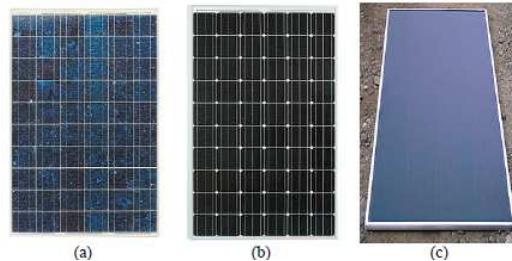
Fonte: Adaptada de Bluesol. (2013)

O silício é, atualmente, o material mais utilizado na produção de células fotovoltaicas. No entanto, a grande parte dos materiais utilizados na fabricação de células fotovoltaicas apresenta composição cristalina, podendo ser encontrada nas seguintes formas: monocristalino, policristalino e amorfo.

Existem materiais que estão ainda em estudo e outros em comercialização reduzida, como é o caso de células translúcidas, de material plástico, de material orgânico e as de filme fino.

A figura 8 mostra os módulos fotovoltaicos de silício dos tipos monocristalino, policristalino e amorfo, que são comercializados.

Figura 8 – Módulos fotovoltaicos de silício (a) monocristalino (b) policristalino e (c) amorfo

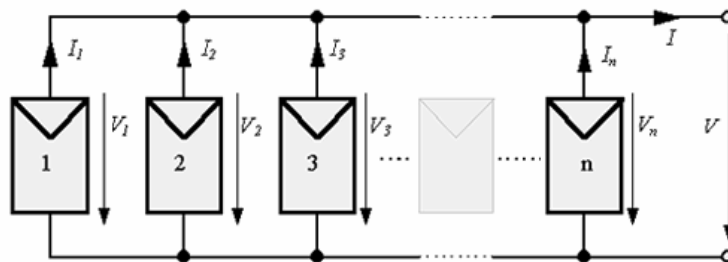


Fonte: Adaptada de Neto et al. (2009)

A associação das células nos módulos é feita conectando-as em série ou em paralelo, para conseguir a potência de saída desejada.

Quando as células são conectadas em paralelo conforme mostrado na figura 9, a corrente é obtida pela soma de cada módulo e a tensão é a referente da célula. Da mesma forma, a cada módulo adicionado em paralelo, a tensão se mantém e as correntes se somam. Essa associação é muito pouco utilizada.

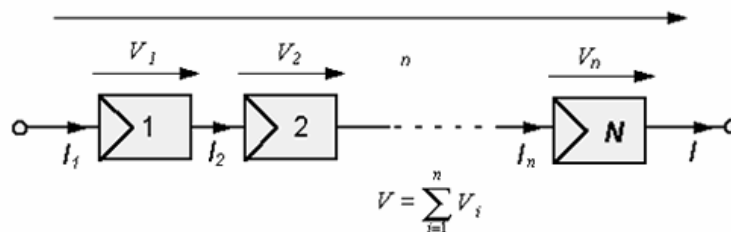
Figura 9 - Associação de células em paralelo



Fonte: Adaptada de Cresesb (2012)

A associação em série apresentada na figura 10, é a mais utilizada, por conseguir uma tensão que permite o carregamento de acumuladores (baterias), que operam geralmente em 12 V.

Figura 10 - Associação das células em série

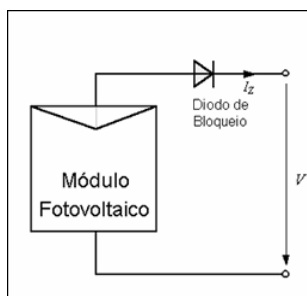


Fonte: Adaptada de Cresesb (2012)

A cada módulo associado em série a corrente se mantém e as tensões se somam. Com essas propriedades, as associações nos permitem ter sistemas em tensões múltiplas: (Ex. 12+12= 24 V; 24+24= 48 V; etc.)

Um problema que prejudica o funcionamento dos módulos é surgimento de uma corrente negativa fluindo entre eles. Ao invés de gerar corrente, o módulo passa a receber muito mais do que produz. Para equacionar esse problema, a solução consiste em instalar um diodo de bloqueio na saída do módulo, como mostra a figura 11, impedindo assim a corrente reversa, caso seja ligado diretamente em um acumulador (CRESESB, 2012).

Figura 11 - Diodo de bloqueio



Fonte: Adaptada de Cresesb (2012)

2.2 Inversor

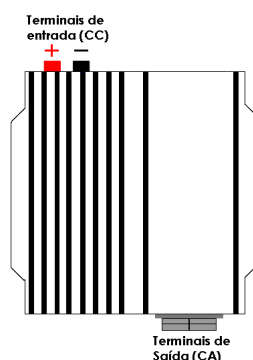
O inversor de tensão ou conversor CC/CA é um equipamento responsável pela conversão da corrente contínua em corrente alternada. Essa conversão é importante na maioria dos sistemas fotovoltaicos, tendo-se em vista que, hoje em dia grande parte dos equipamentos comercializados opera em corrente alternada.

O seu funcionamento é feito por mecanismo de chaveamento para alternar o sentido da corrente entregue à carga. Para a conversão de CC para CA existem muitas técnicas

(NETO et al., 2009), sendo possível, a partir de uma delas, determinar a qualidade da energia fornecida para a carga e a sua forma de onda de saída.

Para especificação deste equipamento é necessário tanto conhecer se o inversor será aplicado em um sistema isolado, conectado à rede, quanto saber as tensões de operação da entrada CC e da saída CA, sua frequência e forma da onda de saída, potência nominal, capacidade de surto e distorção harmônica. A figura 12 ilustra um inversor.

Figura 12 – Ilustração de um inversor



Fonte: Adaptada de Blasques et al. (2008)

As tensões e a frequência de operação dependem das características do sistema elétrico, sendo que no Brasil é adotada tensão na saída em CA de 127 ou 220 V e frequência de 60 Hz.

Entende-se que a potência nominal de um inversor é a que ele fornece continuamente à carga, enquanto que a capacidade de surto, ou pico de potência, está relacionada com a máxima potência que o inversor pode suportar em um curto período de tempo.

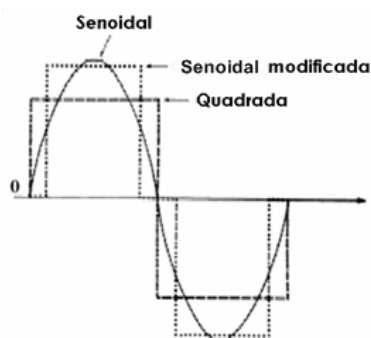
Devido ao fato de alguns equipamentos durante a sua partida, requererem por um pequeno período de tempo, potência maior que a nominal provocada pelo aumento de corrente, como ocorre em partida de motores elétricos, o pico de potência é extremamente importante na escolha de um inversor.

Os inversores comerciais chegam a atingir valores de eficiência superiores a 90% (BLASQUES et al., 2008), sendo a relação entre a potência ativa de saída e a potência ativa de entrada chamada de eficiência de conversão, ou eficiência global do inversor..

Forma de onda de saída, que pode ser senoidal, senoidal modificada ou quadrada, é outro importante parâmetro, é imprescindível para o funcionamento normal das cargas.

A figura 13 ilustra os tipos de formas de onda senoidal, quadrada e senoidal modificada.

Figura 13 - Tipos de formas de onda utilizadas em inversores



Fonte: Adaptada de Blasques et al. (2008)

O inversor pode ser monofásico ou trifásico, dependendo do porte do sistema. Para sistemas trifásicos, podem-se associar inversores monofásicos, levando-se em consideração certas recomendações.

Outra característica importante de um inversor é quanto à utilização em sistemas conectados à rede ou isolados. Inversores para sistemas conectados devem possuir forma de onda adequada à da rede, sofrendo o risco de desconexão se ela apresentar distorção harmônica elevada. Quanto à comutação, podem ser comutados pela rede (comutação natural), ou auto-comutados (comutação forçada).

Para sistemas isolados, a escolha de inversor é mais tolerável quanto à forma de onda, porém devem apresentar potência de surto elevada, pois não contam com ajuda em casos de aumento repentino de carga e faltas (NETO et al., 2009).

Figura 14 - Modelos de inversores disponíveis comercialmente.



Os inversores de onda quadrada são mais simples e baratos, porém, servem apenas para pequenas aplicações. Os inversores de onda senoidal modificada são

bastante utilizados, baratos e produzem uma onda entre a quadrada e a senoidal. Podem ser aplicados para pequenas instalações, ou seja, cargas de baixa potência e aparelhos com controle de velocidade ou timers (NEOSOLAR, 2013).

Os inversores de onda senoidal pura produzem uma onda senoidal praticamente perfeita e, muitas vezes, até mais limpa que a da própria rede elétrica, podendo ser utilizados com qualquer tipo de aparelho. Apesar de serem mais caros, o seu custo vem cada vez mais em relação aos inversores de onda modificada mais utilizados diminuindo (NEOSOLAR, 2013).

Os inversores para conexão à rede produzem uma onda senoidal pura, porém precisam sincronizar com a frequência da rede elétrica. Possuem geralmente um mecanismo chamado “ilhamento”, que garante que o sistema não irá energizar enquanto a rede ficar desligada, para evitar eletrocução de pessoas durante procedimentos de manutenção (NEOSOLAR, 2013).

O microinversor para conexão à rede é um novo tipo de inversor diferente dos inversores tradicionais (inversor central), conectado a um único painel solar. Tem as mesmas proteções e apresenta vantagens sobre os inversores convencionais, com melhor eficiência, facilidade de instalação, modularidade, maior vida útil e facilidade de manutenção (NEOSOLAR, 2013).

É importante ressaltar que os inversores de conexão à rede são projetados para trabalhar em sincronia com a rede elétrica, fazendo a interface entre a energia da distribuidora, a energia gerada pelo gerador fotovoltaico e a unidade consumidora de energia. Nesse caso, o inversor envia energia à rede medindo as tensões e a frequência da rede.

Para que a energia excedente gerada pelos painéis seja levada à rede elétrica, uma forma de conexão do sistema é a ligação entre a saída do inversor e o disjuntor geral da residência, fazendo o medidor girar ao contrário. Com a instalação, após o disjuntor geral, dos medidores chamados de inteligentes, pode-se medir a energia que entra e que sai da instalação. Também se deve colocar outro disjuntor para isolar o sistema fotovoltaico da rede, para o consumidor cobrar o crédito em sua conta, consumindo energia da rede em até 36 meses (BLUESOL, 2013).

Existe ainda no mercado o chamado inversor/carregador, que além da função de inversor, tem a capacidade de carregar as baterias a partir de uma fonte AC, diminuindo o risco de danos a elas por descarga exagerada. Por essa mesma razão, permite reduzir o

banco de baterias. Outra vantagem é que permite arrancar um motor ou gerador mesmo quando as baterias estiverem descarregadas (NEOSOLAR, 2013).

Prezando a praticidade, existe um inversor chamado de grid-tie, cuja saída pode ser conectada diretamente em uma tomada. Tem a vantagem na facilidade de seu uso e instalação. Além de sua praticidade, esse inversor ajusta automaticamente a tensão e frequência da energia transferida, e tem todas as proteções necessárias para trabalhar ligada à rede.

2.3 Acumulador de Energia

O elemento responsável por armazenar energia em um determinado sistema é o acumulador de energia. Há diversos tipos de acumuladores dependendo da aplicação, como as barragens, em grandes centrais hidrelétricas; os volantes de inércia em sistemas de *backup*, e as baterias recarregáveis, em sistemas fotovoltaicos isolados (NETO et al., 2009).

A bateria é um dos componentes mais importantes de sistemas fotovoltaicos isolados. Pode ser classificada quanto às suas características construtivas (abertas ou seladas) e elementos químicos de que é composta (chumbo-ácido ou níquel-cádmio).

As baterias de chumbo-ácido são as que têm maior disponibilidade no mercado e custo reduzido em relação a outros tipos. Por isso, são as mais aplicadas em sistemas fotovoltaicos isolados e recebem enfoque neste trabalho.

O elemento básico de uma bateria de chumbo-ácido é um conjunto de duas placas de metais (os eletrodos), de composições diferentes, mergulhadas num líquido apropriado (solução iônica). Essas placas produzem uma diferença de potencial através de meio para os processos de carga e descarga, os quais ocorrem através de reações reversíveis de oxiredução. São mantidas afastadas uma da outra por um separador de material isolante, porém poroso, de modo que deixa passar os íons da redistribuição de carga decorrente de reações de oxiredução.

Nas reações de oxiredução em acumuladores de chumbo-ácido, durante o processo de descarga, o chumbo puro material ativo da placa negativa, sofre oxidação e o óxido de chumbo, material ativo da placa positiva, sofre redução através da liberação e captação de elétrons, respectivamente, os quais podem ser utilizados para gerar uma corrente eletrônica e alimentar uma carga. Já no processo de carga, ocorre a

recomposição do metal puro, por redução, e do metal na forma de óxido, por oxidação, sendo necessário injetar corrente elétrica por uma fonte externa.

Os principais parâmetros de uma bateria são:

- capacidade do acumulador(C);
- capacidade nominal (CB);
- regime de descarga e taxa de carga/descarga;
- estado de carga (SOC);
- energia total disponível (E_T);
- energia útil (E_U);
- profundidade máxima de descarga (P_{Dmax});
- carga plena, sobrecarga,
- descarga profunda;
- auto-descarga;
- eficiência;
- vida útil;
- tensão de saída.

O valor da capacidade do acumulador é dado pela Fórmula 1 em Ah (NETO et al., 2009):

$$C = \int_0^t i_{descarga} dt \quad (1)$$

Esta equação pode ser determinada utilizando uma corrente constante durante o tempo necessário para descarregar toda a bateria. Porém, é importante salientar que depois de sucessivos ciclos de carga e descarga, a capacidade da bateria tende a diminuir.

A quantidade de carga, em ampere hora (Ah), que pode ser armazenada ou retirada de uma bateria totalmente carregada é definida pela capacidade nominal (CB) e depende da velocidade do ciclo de carga/descarga e da temperatura.

O regime de descarga de uma bateria é estabelecido a partir da relação entre a capacidade nominal da bateria e a corrente em que se realiza a descarga, expressa em

horas. É representado através de índices ao lado do símbolo da corrente, por exemplo I_{100} , que significa um regime de descarga completa durante 100 horas.

A taxa de carga/descarga é definida pela razão entre a capacidade nominal e o intervalo de carga/descarga. As baterias são normalmente especificadas em função de sua capacidade de corrente em um determinado tempo (Ah), sendo que essa capacidade tende a diminuir com a redução do tempo.

O estado de carga (SOC) é a relação entre a capacidade da bateria em um estado qualquer, já a capacidade nominal pode variar de 0 a 1. Quando a bateria está totalmente descarregada assume o valor 0 e quando totalmente carregada, o valor 1.

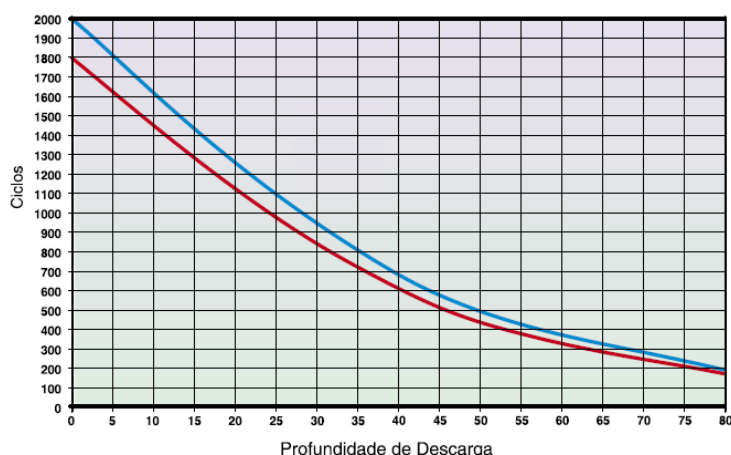
O produto entre a capacidade nominal, em Ah, e a tensão nominal da bateria (V_B), representa a energia total disponível (E_T) em uma bateria, dada em Wh. Já a quantidade de energia, em Wh, que pode ser fornecida por uma bateria completamente carregada é a sua energia útil (E_U), e depende da profundidade máxima (P_{Dmax}) de descarga especificada, que é o percentual da energia total disponível que pode ser usada da bateria. Assim, a capacidade específica máxima de armazenamento para cada acumulador é a sua carga plena.

Esses conceitos mostram que a sobrecarga é o processo de manter a bateria sobre carregamento, mesmo após ter sido atingida a carga plena, e a descarga profunda é o processo em que se mantém a descarga de uma bateria, mesmo após a mesma ter atingido sua máxima profundidade de descarga.

O processo espontâneo em que a bateria perde carga devido a reações químicas internas é chamado de auto-descarga, que é expressa como uma porcentagem da capacidade nominal da bateria. A eficiência é a relação entre a energia entregue e a efetivamente armazenada.

A vida útil de uma bateria depende da profundidade de descarga, das correntes de carga e descarga e da temperatura de operação. A figura 15 expressa a vida útil da bateria em função do número de ciclos ou período de tempo.

Figura 15 – Número de ciclos em função da profundidade de descarga para dois modelos de bateria de chumbo-ácido



Fonte: Adaptada de Blasques et al. (2008)

A tensão nos terminais de uma bateria é conhecida como tensão de saída e varia em função do estado de carga e da temperatura do eletrólito nos processos de carga e descarga.

Dependendo da sua aplicabilidade, as baterias de chumbo-ácido são classificadas basicamente em:

- automotivas, para aplicações que requerem altos valores de corrente em curtos períodos de tempo;
- fotovoltaicas, que possuem taxas de descarga reduzidas, pois devem suportar descargas profundas quando ocorre a baixa produção do gerador fotovoltaico em dias nublados;
- estacionárias, que são usadas naquelas atividades em que não pode faltar energia elétrica em momento algum para alimentar as cargas prioritárias de uma instalação ou usina.

Devido ao seu baixo custo e larga disponibilidade no mercado, a bateria automotiva é a mais utilizada em sistemas fotovoltaicos no Brasil. A figura 16 ilustra alguns modelos de baterias automotivas, estacionárias e fotovoltaicas.

Figura 16 – Modelos comerciais de baterias (a) automotivas, (b) estacionárias e (c) fotovoltaicas.



2.4 Controlador de Carga

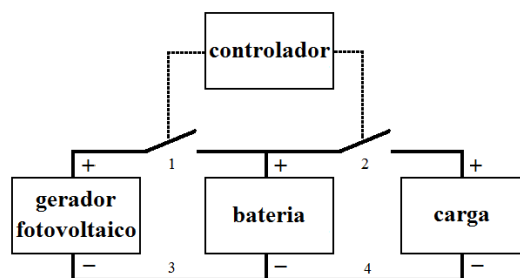
O controlador de carga é um equipamento essencial em um sistema fotovoltaico isolado. Ele é responsável pelo monitoramento do carregamento e o descarregamento dos acumuladores, através dos valores de tensão (setpoints) e regula o fluxo de corrente a fim de evitar sobrecarga ou sobredescarga.

No caso de sistemas conectados à rede, como não há armazenamento de energia, não é necessário o uso de um controlador.

Os controladores podem ser classificados quanto à configuração física, existindo dois tipos, a série e a paralela, ou pela estratégia de controle, sendo as mais utilizadas para gerenciar o carregamento dos acumuladores a On/Off e a de tensão constante, podendo ser essa última de modo linear ou por meio de PWM (NETO et al., 2009). Nesse trabalho, está apresentada apenas a configuração física em série e estratégia de controle On/Off.

A configuração em série de controladores é feita como mostrado na figura 17. É colocada uma chave na conexão 1 ou na 3, assim o controle seria feito pelo ramo positivo ou negativo, respectivamente. Quando a bateria estivesse carregada, a chave seria aberta, evitando sobrecarga. Além disso, uma chave também é adicionada na conexão 2 ou na 4, permitindo desconectar a carga e evitar descarga profunda da bateria.

Figura 17 – Configuração série com chaves nas conexões 1 (controle de carregamento da bateria) e 2 (controle de descarga da bateria)

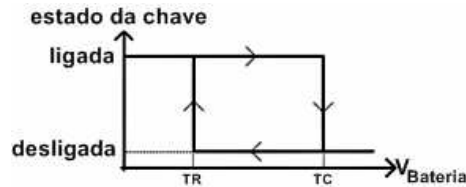


Fonte: Adaptada de Neto et al. (2009)

A estratégia On/Off de controle é a mais simples dos controladores e consiste basicamente na retirada do gerador fotovoltaico do sistema, ou seja, abrir a chave na configuração série quando a bateria atingir a tensão de corte (TC) e fechá-la quando a

tensão de reconexão (TR) for alcançada. Na figura 18 as histereses resultantes do controle [27].

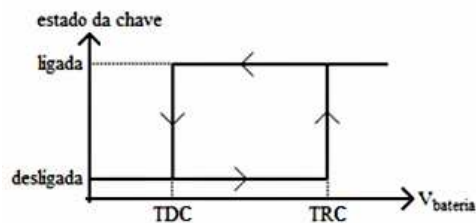
Figura 18 – Histereses de controle On/Off para controladores em série



Fonte: Adaptada de Neto et al. (2009)

Nessa estratégia de controle, a proteção contra descarga profunda é feita de maneira semelhante à de sobrecarga, ou seja, quando a tensão da bateria atingir um valor mínimo, chamado de tensão de desconexão da carga (TDC), a chave ligada à carga é aberta. Ao atingir a tensão reconexão da carga (TRC), a chave é fechada. A figura 19 mostra a histerese ilustrativa desse processo.

Figura 19 – Histerese do controle preventivo de sobredescarga para controladores série



Fonte: Adaptada de Neto et al. (2009)

Os valores para abrir ou fechar as chaves e evitar sobrecarga e sobredescarga são chamados de “Setpoints”, que são valores de tensão pré-determinados nos controladores de carga como referências. Para determinação desses valores, diversos fatores devem ser levados em consideração, tais como o tipo de acumulador utilizado, as condições físico-químicas dos acumuladores, a temperatura ambiente, as correntes de carga e descarga e a profundidade máxima de descarga, a fim de aumentar a vida útil dos acumuladores.

Assim, a máxima tensão que um controlador permite à bateria, a fim de evitar sobrecarga, é chamada de tensão de corte (TC). Quando esta tensão for atingida pela

bateria, o controlador interrompe o seu carregamento pelo gerador fotovoltaico. Para baterias de 12 V nominais, a tensão de corte deve variar de 14,1 a 14,7 V (NETO et al., 2009).

Desta forma, a mínima tensão que permite o gerador voltar a carregar a bateria é chamada de tensão de reconexão (TR) e deve ficar entre 13,50 e 13,80 V para baterias de 12 V (TAUTE, 2004).

A tensão mínima que a bateria deve possuir para ocorrer desconexão da carga, a fim de evitar descargas profundas é chamada de tensão de desconexão da carga (TDC). Seus valores variam de bateria para bateria. Para baterias automotivas, recomenda-se utilizar o valor de 11,80 V (TAUTE, 2004)], valor obtido em testes experimentais.

Contudo, a carga só pode ser reconectada quando a chamada tensão de reconexão da carga (TRC) for atingida pela bateria, indica-se utilizar valores entre 12,98 e 14,16 V (TAUTE, 2004).

2.5 Redes Inteligentes (Smart-Grid)

Desde a invenção da lâmpada incandescente em 1879, quase não ocorreram mudanças no sistema de distribuição de energia elétrica, devido à necessidade de suprimento de energia de forma sustentável no mundo.

As redes inteligentes chegam com o objetivo de uma melhor eficiência energética, permitindo o melhor uso, aproveitamento de fontes renováveis (fotovoltaica, eólica, etc) e economia tanto para consumidores quanto para as concessionárias de fornecimento (RUMOSUSTENTÁVEL, 2013).

As diferenças de uma rede inteligente para a rede utilizada nos dias atuais são a forma de distribuição, medição, cobrança e verificação da rede de distribuição, que será auxiliada por dispositivos inteligentes, tornando-a mais transparente e confiável.

Redes inteligentes incorporam funcionalidades como a auto-recuperação, medição inteligente, qualidade de energia, mobilidade elétrica (carros elétricos), armazenamento de energia, gestão eficiente do sistema de iluminação pública, gestão da energia elétrica nos consumidores (casas inteligentes), geração distribuída, integração com outros serviços (medição compartilhada, por exemplo).

Um importante incentivo às redes inteligentes no Brasil foi dado através da Resolução Normativa N^o 482, da ANEEL, de 17 de abril de 2012, que estabeleceu as condições para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de

distribuição de energia elétrica e ao sistema de compensação de energia elétrica. Pode-se solicitar às concessionárias que façam uma conexão com a rede elétrica, com dois (2) medidores, sendo um para o consumo e o segundo para geração, permitindo que pequenos consumidores produzam e exportem energia.

O sistema de compensação previsto poderia gerar valores nulos das contas mensais dos usuários, prejudicando a receita das distribuidoras e aumentando o valor a ser cobrado dos outros usuários, mas a própria resolução exige o pagamento de uma taxa pela transmissão da energia às distribuidoras.

A geração própria de energia elétrica com possibilidade de exportar o excedente para a rede exigirá instalações de medidores inteligentes, que medirão a energia que entra e a que sai da instalação. Inicialmente, a ideia é abater a energia produzida da conta de luz mensal e, num futuro próximo, estabelecer uma metodologia para permitir a venda do excedente.

O conceito de medidores inteligentes está associado ao de rede inteligente, tendo como maior vantagem a comunicação bidirecional, podendo receber e enviar dados. A microgeração distribuída, por sua vez, poderá ampliar o mercado de fornecimento, aliviando o sistema como um todo, como por exemplo, a utilização em larga escala de painéis fotovoltaicos em residências e estabelecimentos comerciais. As redes inteligentes terão capacidade de receber energia proveniente desses painéis, criando uma nova forma de comercialização da energia.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão definidas as especificações técnicas, dimensionamento juntamente com a elaboração do projeto e a implementação do sistema de energia fotovoltaico proposto para uma residência.

3.1 Especificações do Sistema Proposto

O projeto do sistema fotovoltaico proposto será desenvolvido a partir das seguintes especificações:

- A) Possuir características tanto do sistema isolado, como do sistema conectado à rede.
- B) Utilizar o controlador microprocessado para integração dos sistemas fotovoltaicos.
- C) Controlar a tensão dos acumuladores a partir de um controlador capaz de tomar a decisão de como o sistema deverá trabalhar, priorizando sempre o carregamento das baterias.
- D) Informar quando o sistema está funcionando como isolado, conectado à rede ou produzindo energia, permitindo o gerenciamento do consumo a partir da criação de uma rede inteligente.
- E) O sistema deve estar dimensionado para atender a uma residência com consumo médio de 200 KWh/mês (EDPESCELSA, 2013).
- F) A capacidade elétrica (C_E), em watts por dia (W/dia) que o sistema deve possuir para atender especificamente os equipamentos de baixo consumo da residência é de 4280,40 W/dia (130,20 KWh/mês) . A relação de equipamentos está apresentada na Tabela 1 com suas quantidades, potência unitária, potência total e horas estipulada de uso por dia, obtendo assim, o consumo total diário e o valor total cada um consome por dia nessa residência.

Tabela 1 – Relação de consumo dos equipamentos de baixo consumo da residência em W/dia

Aparelho (Tensão de trabalho)	Qtd	Potência (W)	Potência Total (W)	h(s) uso dia	Consumo W/dia
Lâmpada Fluorescente (127 V)	18	23 W	414 W	1h	414 W/dia
Notebook (127 V)	1	75 W	75 W	4h	300 W/dia
TV em cores 42" (127 V)	1	150 W	150 W	8h	1200 W/dia
Ventilador (127 V)	2	45 W	90 W	2h	180 W/dia
Video Game (127 V)	1	15 W	15 W	1h	15 W/dia
Geladeira 352 Litros (127 V)	1	64 W	64 W	24h	1536 W/dia
Impressora mult. mod. esp/ (127 V)	1	2,5 W	2,5 W	24h	57,6 W/dia
Impressora multifuncional (127 V)	1	10 W	10 W	0,16h	1,6 W/dia
Carregador celular (127 V)	1	1,5 W	1,5 W	2h	3 W/dia
Modem de internet (127 V)	1	9 W	9 W	24h	216 W/dia
Roteador (127 V)	1	5 W	5 W	24h	120 W/dia
Aparelho de som (127 V)	1	180 W	180 W	0,2h	36 W/dia
Rádio relógio (127 V)	1	8 W	8 W	24h	192 W/dia
Motor Portão Eletrônico (220 V)	1	184 W	184 W	0,05h	9,2 W/dia
					Total = 4280,4 W/dia

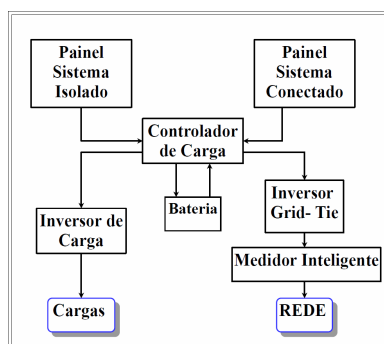
G) A insolação diária (I_D) do local de instalação deve ser em torno de 6 horas

3.2 Dimensionamento e Projeto do Sistema

O dimensionamento do sistema leva em consideração que ele estará trabalhando ou isolado ou conectado à rede.

A figura 20 apresenta a arquitetura básica do projeto proposto, integrando o sistema isolado com o sistema conectado à rede, para atender uma residência com consumo médio de 200 KWh/mês. Apresenta como vantagem uma melhor relação custo-benefício em áreas atendidas pela rede convencional de energia, principalmente para as que aderirem à modalidade tarifária branca e com a criação de uma rede inteligente.

Figura 20 - Fluxograma do sistema isolado/conectado à rede projetado



O projeto do sistema fotovoltaico foi desenvolvido levando em consideração as seguintes premissas:

- O equipamento de armazenamento de energia (bateria) utilizado em sistema isolado permite que o usuário tenha energia para consumo a qualquer momento, mesmo no período que não esteja produzindo energia elétrica;
- Para cargas de alta potência (consumo), como chuveiros, ferros de passar, aparelhos de ar condicionado, secador de cabelos, forno de microondas, máquina de lavar roupas e motores trifásicos, não é recomendável utilizar a energia solar fotovoltaica para sistemas isolados (CEMIG, 2012).

O projeto de um sistema fotovoltaico isolado deve ser baseado na capacidade elétrica (C_E) que o sistema irá fornecer, dimensionando a potência consumida pelos equipamentos que se deseja atender, ou seja, apenas as cargas de baixa potência.

Com relação ao projeto de um sistema fotovoltaico conectado à rede deve ser dimensionado pelo consumo total diário (C_D) de energia elétrica da residência.

Desse modo, os painéis fotovoltaicos do sistema proposto devem atender às cargas de baixa potência referentes à residência com folga, já que priorizam o atendimento destas.

Por outro lado, estando as baterias carregadas, o sistema garante que as cargas de baixo consumo serão normalmente atendidas, podendo assim o sistema trabalhar conectado. Neste momento, poderá alimentar as cargas de alta potência e injetar o excedente à rede, se ele estiver produzindo mais do que estiver sendo consumido, ou enviar apenas toda energia gerada à rede.

O sistema será dimensionado para atender todas as cargas da residência, sendo assim, a energia que será injetada à rede, caso não seja utilizada pelas cargas de alta potência no momento de sua produção, proporcionará crédito em sua conta de energia.

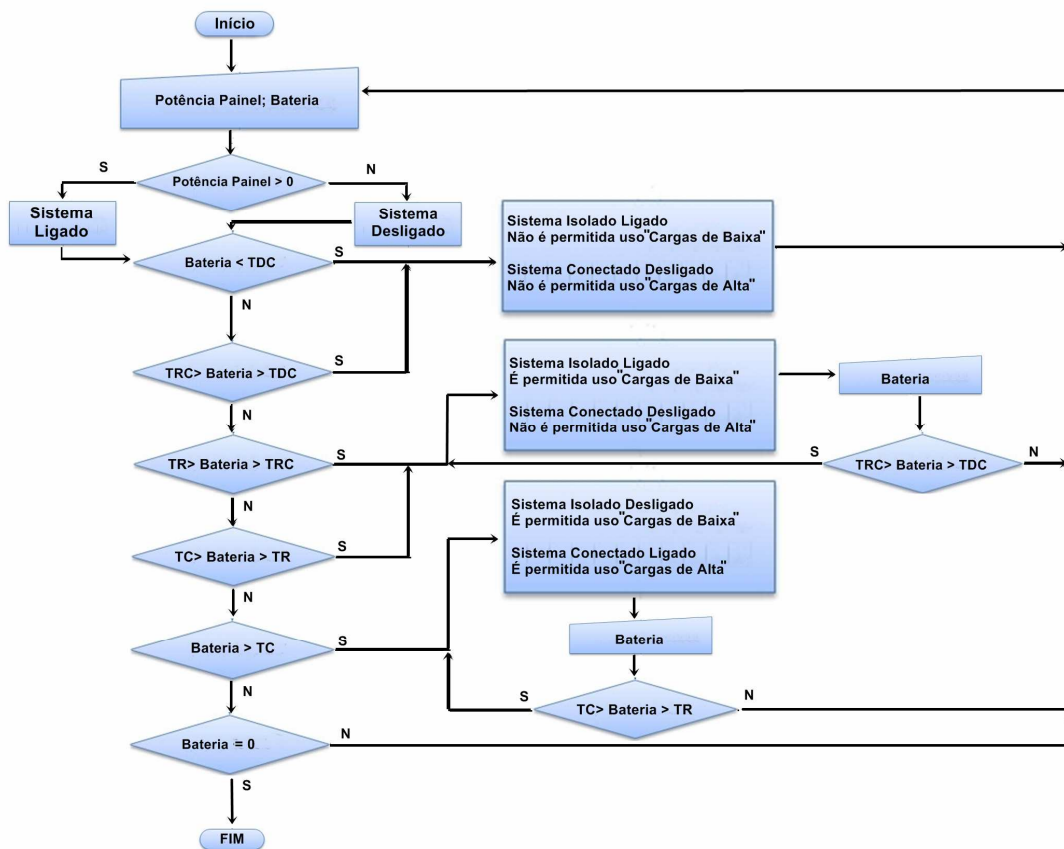
A implantação desse sistema em residências, principalmente aquelas que vierem a aderir à modalidade tarifária branca em áreas atendidas pela rede elétrica, tem por intuito gerar maior economia e possibilitar melhor eficiência no uso da energia elétrica, desde que o morador mude seus hábitos, ou pelo menos saiba as diferenças de custos existentes.

Portanto, para o sistema proposto foi desenvolvido um controlador para gerenciar os 2 (dois) sistemas fotovoltaicos, o isolado e o conectado à rede, permitindo

a integração entre eles, uma vez que não existe no mercado um controlador com as funções requeridas.

Nesse caso, o controlador de carga a ser desenvolvido deve comandar os painéis solares dos dois sistemas fotovoltaicos, informando ao usuário se o sistema está produzindo energia ou não, se está funcionando como isolado ou conectado e se é possível ou não utilizar cargas de baixa e alta potência, conforme o diagrama de bloco abaixo estabelecido:

Figura 21 - Diagrama de blocos do controlador projetado



O sistema proposto foi dimensionado para a média de consumo mensal de uma residência que é de 200 KWh/mês.

Para obter o valor médio de consumo (C_D) diário, a média de consumo mensal 200 KWh/mês foi multiplicado por mil para transformar-se em watts (W) e em seguida por 12 meses. Esse valor obtido foi dividido por 365 dias (um ano), resultando no valor médio de consumo (C_D) diário em Watts por dia (W/dia) de:

$$C_D = (200 \text{ KWh/mês} * 1000 * 12 \text{ meses}) / 365 \text{ dias} = 6575,35 \text{ W/dia}$$

O valor computa os gastos com os equipamentos de baixo consumo, (4280,40 W/dia, de acordo com a Tabela 1), demonstrando a capacidade elétrica (C_E) do sistema.

Levando-se em conta o cálculo do valor médio de consumo (C_D) diário e da capacidade elétrica (C_E), foi definida a tensão de instalação (V_i), com base nas tensões de trabalho dos componentes que vão compor o sistema ou pelas cargas CC a serem atendidas.

Nesse projeto, definiu-se a tensão de 24 V por se tratar de uma instalação com potência alta, mas poderia ser de 12 V, 48 V, 96 V, 108 V, ou outras tensões (GTES, 2004]. Essa tensão depende do tamanho da instalação, sendo escolhida a fim de se evitar correntes altas, para o dimensionamento dos cabos.

A definição dos equipamentos para compor o sistema integrado proposto foi então iniciada com a especificação do inversor, que é responsável por atender as cargas de baixo consumo, considerando na especificação as seguintes premissas:

- Forma de onda que o inversor produz na sua saída, ou seja, com exceção das lâmpadas, todos os demais equipamentos devem ser atendidos por inversores que produzem onda senoidal, podendo ser utilizados por qualquer aparelho (NEOSOLAR, 2013);
- Tensão de entrada (V_{cc}) deve ser igual à tensão das baterias e a de saída (V_{ca}) igual à tensão das cargas de corrente alternada, como mostra a Tabela 1;
- Eficiência do inversor: Relação entre a potência de saída e a potência de entrada, expressa em porcentagem, significando que parte da energia gerada no sistema é perdida ou consumida pelo próprio inversor.
- Potência nominal (P_N): Indica que o consumo dos equipamentos ligados ao sistema fotovoltaico, deve ser igual à potência de consumo (C_T), dividido pela sua eficiência.
- Frequência a ser utilizada deve ser de 60 HZ, que é a adotada no Brasil.

Com essas informações, foi definido que o inversor terá frequência de 60 Hz, eficiência mínima de 90% (BLASQUES et al., 2008) e tensão de entrada igual à da instalação (24 V), que é a da saída da associação das baterias.

Tomando-se os dados do levantamento apresentado na tabela 1 e que a eficiência do inversor é de 90% dividindo o consumo de cada equipamento por 0,9, pode ser obtido a potência nominal real (P_{RI}) que o inversor deve possuir. Arredondando esse valor para cima, o valor de P_{RI} está apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Relação da potência real para a escolha dos inversores do sistema.

Aparelho (Tensão de trabalho)	Consumo W/dia	$P_{RI} = \text{Consumo}/0,9$
Lâmpada Fluorescente (127 V)	414 W/dia	460 W/dia
Notebook (127 V)	300 W/dia	334 W/dia
TV em cores 42" (127 V)	1200 W/dia	1334 W/dia
Ventilador (127 V)	180 W/dia	200 W/dia
Video Game (127 V)	15 W/dia	17 W/dia
Geladeira 352 Litros (127 V)	1536 W/dia	1707 W/dia
Impressora mult mod. esp/ (127 V)	57,6 W/dia	64 W/dia
Impressora multifuncional (127 V)	1,6 W/dia	2 W/dia
Carregador celular (127 V)	3 W/dia	4 W/dia
Modem de internet (127 V)	216 W/dia	240 W/dia
Roteador (127 V)	120 W/dia	134 W/dia
Aparelho de som (127 V)	36 W/dia	40 W/dia
Rádio relógio (127 V)	192 W/dia	214 W/dia
Motor Portão Eletrônico (220 V)	9,2 W/dia	11 W/dia
		Total = 4761 W/dia

A especificação dos inversores necessários para atender a essa residência foi tomada com base nas respectivas tensões e potências nominais (P_{RI}) apresentadas para cada equipamento na tabela 2. Foi definido que só as lâmpadas poderão ser atendidas por inversor de onda modificada e os demais equipamentos, por inversor de onda senoidal.

Os inversores especificados estão apresentados na Tabela 3:

Tabela 3 – Especificação dos inversores do sistema.

QTD	FORMA DE ONDA	POTÊNCIA	TENSÃO CC	TENSÃO CA	FREQUENCIA
1	onda modificada	1000W	24 Vcc	127 Vac	60Hz
9	onda senoidal	500 W	24 Vcc	127 Vac	60Hz
1	onda senoidal	500 W	24 Vcc	220 Vac	60Hz

Um inversor de onda modificada foi especificado para atender as lâmpadas, um de onda senoidal de 220 Vac para o motor do portão e os outros nove de onda senoidal para os demais equipamentos.

A partir da potência nominal total calculada para a especificação dos inversores apresentada na tabela 2, foi obtida a capacidade elétrica imaginária (C_{EI}) que o sistema terá que produzir (4761 W), sem considerar perdas.

Para obter a capacidade elétrica real (C_{ER}) de geração, levou-se em consideração a perda na fiação, que é padronizada em 2% (GTES, 2004); perdas nas baterias de 5%

(GTES, 2004) na média, podendo ser utilizadas as fornecidas pelo próprio fabricante e o valor de perda por auto-descarga, que é de 3% (UNIPOWER, 2013).

Desta forma, o cálculo da capacidade elétrica real (C_{ER}) foi feito dividindo a capacidade elétrica imaginária por 0,90, que é a eficiência, desconsiderando as perdas, segundo a fórmula 2 abaixo:

$$C_{ER} = C_{EI} / 0,90 \quad (2)$$

Sabendo que a capacidade elétrica imaginária (C_{EI}) é de 4761 W, foi obtida uma capacidade elétrica real (C_{ER}) de 5290 W.

Quanto à especificação da bateria, foi dimensionada a capacidade de armazenamento (C_A), dada em ampére-hora (Ah), que o sistema deverá possuir, considerando seguintes características:

- Capacidade elétrica real em ampére-hora (Ah): Relação entre a capacidade elétrica real (C_{ER}) e a tensão de trabalho do sistema (V_i).
- Dias de autonomia (Aut) que se pretende que o sistema fotovoltaico tenha: Pode-se considerar entre 3 a 5 dias (SOLARTERRA, 2008), isto é, a capacidade das baterias dimensionadas para atender às cargas durante este período;
- Profundidade máxima de descarga (P_{Dmax}): Percentual da energia máxima disponível que pode ser usada da bateria, ou seja, o valor especificada para cada tipo de bateria. É encontrada no manual do fabricante.

Portanto, a capacidade de armazenamento (C_A) que o sistema deve possuir é dada pela Fórmula 3 abaixo:

$$C_A = (C_{ER} / V_i) * (Aut / P_{Dmax}) \quad (3)$$

Considerando que o sistema deverá ter 3 dias de autonomia e a bateria adquirida tem uma profundidade máxima de descarga igual de 60%, a capacidade de armazenamento que o sistema deve possuir para atender aos equipamentos da tabela 1 é dada por:

$$C_A = (5290 \text{ W}/24 \text{ V}) * (3/0,6) = 1103 \text{ Ah}$$

Essa capacidade de armazenamento é o mínimo valor que o sistema deve possuir (1103 Ah), suficiente para atender às condições em que foi dimensionada.

Para saber a quantidade total (A_T) das baterias para compor o sistema a partir da capacidade de armazenamento, deve ser avaliada a sua capacidade (C), dada em ampere hora (Ah) e tensão (V_{bat}).

Conhecendo a capacidade e tensão de cada bateria é possível definir a quantidade de baterias que deve ser instalada em série (A_s) formando-se fileiras, conectando o polo positivo de uma com o polo negativo da outra para a soma das tensões.

Assim como, a quantidade de fileiras de baterias que o sistema deve ter em paralelo (A_p), conectando o polo positivo com o polo positivo e polo negativo com o polo negativo destas, para soma das correntes.

A quantidade total (A_T), é calculada utilizando-se as Fórmulas 4, 5 e 6, apresentadas abaixo.

$$A_s = V_i / V_{bat} \quad (4)$$

$$A_p = C_A / C \quad (5)$$

$$A_T = A_s * A_p \quad (6)$$

V_i , que é a tensão da instalação, tem que ser maior ou igual a V_{bat} e os valores de A_s e A_p devem sempre ser arredondados para cima.

O valor de V_i é 24 V, e sendo proposta a compra de bateria com capacidade de 220 Ah e tensão nominal de 12V, conforme as especificações descritas anteriormente com as perdas de auto-descarga e de profundidade de descarga máxima, chega-se à quantidade total (A_T) de bateria que deverá ser adquirida:

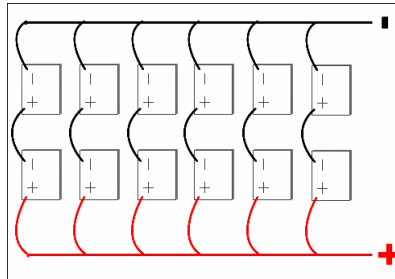
$$A_s = 24 \text{ V} / 12 \text{ V} = 2$$

$$A_p = 1103 \text{ Ah} / 220 \text{ Ah} \approx 6$$

$$A_T = 2 * 6 = 12$$

Para atender à condição exposta, há necessidade de adquirir 12 baterias automotivas seladas com tensão de 12 V e capacidade de 200 Ah, sendo ligado cada par em série formando-se fileiras, para que estas sejam conectadas em paralelo, conforme apresentado na figura 22.

Figura 22 – Ligação das Baterias



Estando os inversores e as baterias especificadas a partir da capacidade elétrica (C_E), dada em watts por dia (4280,4 W/dia), foi iniciada as dos demais equipamentos a partir do valor médio de consumo (C_D) diário, em Watts por dia (6575,35 W/dia).

Tendo-se em vista que o sistema integrado proposto deve trabalhar como isolado, para atender às cargas de baixa potência, foi utilizada a capacidade elétrica (C_E), ou seja, a potência consumida por esses equipamentos para o dimensionamento dos inversores e baterias.

Logo, a especificação dos inversores para conectar o sistema à rede é feita a partir do consumo (C_D) diário, que é de 6575,35 Wh/dia, bem como, o(s) painel(is) e o(s) controlador(es).

O inversor utilizado deve ser específico para conexão à rede, considerando-se as seguintes premissas:

- Tensão de entrada (V_{cc}) igual à gerada pelo(s) painel(is) e tensão de saída (V_{ca}) igual à tensão da rede;
- Eficiência do inversor: Relação entre a potência de saída e a potência de entrada, expressa em porcentagem, significando que parte da energia gerada no sistema é perdida ou consumida pelo próprio inversor.
- Potência nominal (P_N): Indica a potência gerada pelo(s) painel(is) que pode ser ligados a ele, corresponde ao consumo (C_D) diário dividido pela sua eficiência.

- Frequência a ser utilizada deve ser de 60 HZ, que é a adotada no Brasil.

A tensão da rede varia de acordo com os equipamentos da tabela 1 e suas especificações podem ser trifásicas 220/127 V.

Considerando-se que os inversores comercializados, em sua grande maioria, possuem uma eficiência em torno de 90% (NEOSOLAR, 2013), pode-se obter a potência nominal real (P_{RI}) dividindo o consumo (C_D) diário, que é 6575,35 Wh/dia, por 0,9.

Assim, a potência (P_{RI}) mínima que o inversor deverá possuir é igual a 7306 W. Para esse sistema, é desejável comprar dois inversores grid-tie com onda senoidal pura, 5000 W, 14 V_{cc}-28V_{cc}, 110 V_{ca}-220 V_{ac}, 50-60 Hz, com eficiência de 90%.

A grande vantagem desses inversores é quanto à sua conexão à rede ser feita conectando as suas saídas em uma tomada da residência: o sistema fotovoltaico passar a produzir energia e enviar o excedente para a rede.

Nesse caso, é importante ressaltar que sempre que se obtém a potência mínima que o inversor deve possuir, deve-se verificar se o transformador da rede de distribuição elétrica da residência é do tipo monofásico ou trifásico, pois dependendo da capacidade elétrica do sistema, poderá não ser possível efetuar sua conexão devido ao seu tipo.

Na rede monofásica é permitido interligar apenas sistema que tenha uma potência inferior ou igual a 15 KW, ou em rede de distribuição rural monofásica com transformador exclusivo menor que 30 KW. Nas redes trifásicas, não existem limitações (CEMIG, 2012).

Para sistema fotovoltaico deve ser utilizado apenas inversor do tipo grid-tie certificado pelo Inmetro, por possuir as proteções necessárias para conexão do sistema à rede elétrica (GAZOLI et al., 2013).

Dessa forma, a conexão de sistemas fotovoltaicos à rede elétrica não requer o uso de sistemas de proteção como relés de sincronismo de fase, frequência, fluxo de potência, subtensão, sobretensão e outras funções normalmente necessárias na conexão de geradores rotativos baseados em máquinas síncronas ou assíncronas (GAZOLI et al., 2013).

Tendo-se em vista que o sistema fotovoltaico dificilmente produzirá a sua potência nominal (P_N), deve ser adotado o método de cálculo dos painéis para o sistema isolado, pois serão consideradas as perdas na fiação, nas baterias e auto-descarga. Deve-se escolher painéis mais eficientes.

Para a especificação do painel, é necessário inicialmente calcular a capacidade de produção (C_{Wh}) mínima, dada em Watts hora (Wh), considerando-se as seguintes características:

- Capacidade elétrica real (C_{ER}) de geração: Calculada pela Fórmula 2, sendo que a capacidade elétrica imaginária (C_{EI}) é a potência (P_{RI}) mínima que o inversor deve possuir (7306 W).
- Eficiência (E_p) de geração de energia do painel: Deverá ser obtida no manual do fabricante;
- Insolação diária (I_D): Obtida no mapa de insolação do Brasil, figura 22.

A capacidade elétrica real (C_{ER}) de geração é igual a:

$$C_{ER} = 7306 \text{ W} / 0,9 = 8118 \text{ W}$$

Assim, a capacidade de produção (C_{Wh}) mínima é obtida através da Fórmula 7 a seguir:

$$C_{Wh} = C_{ER} / (E_p * I_D) \quad (7)$$

Considerando a eficiência do painel a ser adquirido igual a 90% e a insolação diária (I_D) especificada inicialmente igual a 6 horas, a capacidade de produção é dada por:

$$C_{Wh} = 8118 \text{ W} / (0,9 * 6) = 1504 \text{ Wh}$$

A capacidade de produção (C_{Wh}) mínima obtida é de 1504 Wh. Para a escolha do(s) painel(is), a capacidade de produção deve ser dividida pela tensão de trabalho do sistema (V_i), sendo encontrada a capacidade de produção (C_{Ah}) em ampere hora (Ah) conforme a Fórmula 8:

$$C_{Ah} = C_{Wh} / V_i \quad (8)$$

Então, a capacidade de produção dada em ampere hora é de:

$$C_{Ah} = 1504 \text{ Wh} / 24 \text{ V} = 62,67 \text{ Ah}$$

Essa capacidade de produção mínima de 62,67 Ah deve ser suficiente para atender as condições em que o sistema foi dimensionado.

Para definir a quantidade total (P_{AIT}) de painéis que irá compor o sistema, devem ser escolhidos os painéis dentro das especificações adotadas, conhecendo a sua tensão nominal (V_p) e a corrente de máxima potência (I_m) dada em ampere-hora (Ah).

Dessa forma, do mesmo modo que foi feito para as baterias, é possível definir a quantidade de painéis que deve ser instalada em série (P_{AIS}), formando fileiras para a soma das tensões e a quantidade de fileiras de painéis que devem ser conectados em paralelo (P_{AIP}), para serem somadas as correntes. Assim, a quantidade total (A_T) necessária para esta capacidade de produção é obtida utilizando-se as Fórmulas 9, 10 e 11, apresentadas abaixo.

$$P_{AIS} = V_i / V_p \quad (9)$$

$$P_{AIP} = C_{Ah} / I_m \quad (10)$$

$$P_{AIT} = P_{AIS} * P_{AIP} \quad (11)$$

V_i , que é a tensão da instalação, tem que ser maior ou igual a V_p e os valores de P_{AIS} e P_{AIP} devem sempre ser arredondados para cima.

Para o sistema foi definido que V_i é igual a 24 V, a corrente de máxima potência do painel a ser adquirido é de 8,14 Ah, tensão nominal de 12 V e uma eficiência de geração de energia igual a 90%. Assim a quantidade total (P_{AIT}) de painéis é de:

$$P_{AIS} = 24 \text{ V} / 12 \text{ V} = 2$$

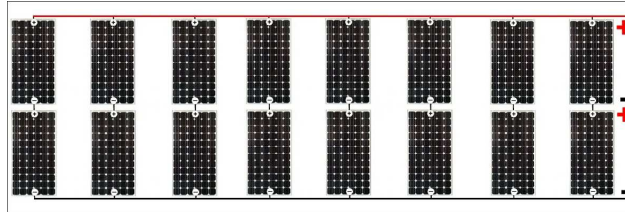
$$P_{AIP} = 62,67 \text{ Ah} / 8,14 \text{ Ah} \approx 8$$

$$P_{AIT} = 2 * 8 = 16$$

Portanto, o sistema é composto de 16 painéis, cada um com potência máxima ou de pico (W_p) igual a 240 Wp, corrente de máxima potência (I_m) de 8,14 Ah e tensão nominal (V_p) de 12 Vcc, sendo instalados em pares conectados em série formando-se 8

fileiras, para que estas sejam conectadas em paralelo, conforme apresentado na figura 23.

Figura 23 – Ligação dos painéis.



A potência máxima (Potmax) de geração do sistema dada em watts hora (Wh) é a potência de pico (Wp) de um painel, ou a soma delas se o sistema precisar contar com mais de um, multiplicada pela sua eficiência de geração, e pode ser obtida conforme a Fórmula 12:

$$\text{Potmax} = N * Wp * Ep \quad (12)$$

Onde:

N = número de painéis

Para o sistema, a potência máxima de geração é igual a:

$$\text{Potmax} = 16 * 240 * 0,9 = 3456 \text{ Wh}$$

Multiplicando esse resultado pelas horas de insolação, que são seis horas, o sistema pode produzir por dia 20.736 W/dia.

Para a especificação do controlador devem ser consideradas duas premissas básicas:

- A corrente (A_{cont}) deve ser igual ou superior à capacidade de produção (C_{Ah}) dada em ampere hora (Ah), multiplicada por um fator de segurança igual a 1,25 (MINHACASASOLAR, 2013).
- A tensão deve ser a mesma que a de operação do sistema (V_i).

Assim, a sua corrente (A_{cont}) é obtida pela Fórmula 13:

$$A_{\text{cont}} = C_{\text{Ah}} * 1,25 \quad (13)$$

Para o sistema, a corrente do controlador deve ser de:

$$A_{\text{cont}} = 62,67 \text{ A} * 1,25 = 78,34 \text{ A}$$

Logo, o controlador projetado deverá ter a corrente mínima igual a 78,34 A e a tensão igual a 24 V, que é o valor de trabalho do sistema.

Quanto à instalação dos módulos fotovoltaicos, devem ser fixados em um suporte orientado para o Norte geográfico, considerando que a sua inclinação para se conseguir um melhor aproveitamento da radiação solar incidente varia de acordo com a latitude da localização da residência que pode ser determinada utilizando a Tabela 4.

Tabela 4 - Ângulos de Inclinação do painel pela latitude.

Latitude	Ângulo de inclinação
0 a 4 graus	10 graus
5 a 20 graus	latitude + 5 graus
21 a 45 graus	latitude + 10 graus
46 a 65 graus	latitude + 15 graus
66 a 75 graus	80 graus

Os cabos que farão a condução das correntes contínuas e alternada devem ser especificados segundo a norma brasileira (NBR5410) (JÚNIOR, 2004).

Os serviços de instalação, mão de obra e equipamentos a serem utilizados na instalação, como elementos de fixação, disjuntores, fusíveis, etc, devem estar especificados no projeto.

3.3 Implementação

Em função do elevado custo de investimento para a instalação do sistema proposto, o projeto a ser implantado foi escalonado para uma potência menor, desenvolvendo-se o projeto de um protótipo, como uma forma de mostrar que a arquitetura apresentada e o sistema microprocessado implementado funcionam de acordo com a especificação.

A implementação do protótipo foi realizada utilizando-se bateria, capacitores, resistores, o microcontrolador PIC16F877A, os circuitos integrados 7805 e o 4030, leds, diodos, transistores, relés, crystal 4 MHz, trimpot de precisão, protoboard, painel fotovoltaico, inversor de frequência, multímetro, cabos, os softwares MPLAB e Proteus, internet e um osciloscópio

Dessa forma, iniciou-se o dimensionamento do protótipo, definindo a capacidade elétrica (C_E) que o sistema deverá possuir, considerando a carga de 1 lâmpada de 3 W e o consumo total diário (C_D) de energia elétrica desta lâmpada e de mais uma de 15 W.

Na Tabela 5, está apresentada a relação de consumo em Watts de duas lâmpadas verificando o consumo individual em Watts/dia.

Tabela 5 – Relação de consumo em Watts para o protótipo.

Aparelho / Lâmpadas	Qtd	Potência (W)	Potência Total (W)	Utilização Diária (horas)	Consumo Diário (W/dia)
3 W /127 V	1	3 W	3 W	6 h	18 W/dia
15 W /127 V	1	15 W	15 W	2 h	30 W/dia

Determinando a capacidade elétrica (C_E) das cargas de baixa potência como sendo de 18 W/dia, foi possível elaborar as especificações do inversor e da bateria, levando em conta as perdas e o grau de eficiência.

Por outro lado, considerando que o consumo total diário (C_D) é de 48 W/dia ou 1,46 KWh/mês foram elaboradas as especificações do controlador, do inversor para conectar à rede e do painel fotovoltaico.

A tensão da instalação (V_i) foi definida com base nas tensões de trabalho dos componentes do sistema, sendo estabelecido no dimensionamento do protótipo o valor de 12 V, por ser uma instalação pequena.

As escolhas dos inversores do protótipo foram feitas considerando apenas aqueles que possuem 90% de eficiência. Assim, a potência real mínima que o inversor deve possuir é de 20 W, para atender as cargas de baixa potência, bem como para conectar o sistema a rede é igual a 53,34 W.

Desse modo, para atender as cargas do sistema, como as lâmpadas não são sensíveis à forma de onda, foi adquirido um inversor de onda modificada de 400 W/12

V_{cc}/115 V_{ca}/60 Hz (NEOSOLAR, 2013), por não ter sido encontrado um modelo similar com potência igual a 20 W.

A conexão do sistema à rede necessita de um inversor grid-tie de onda senoidal pura de 300 W/12V_{cc}/110V_{ac}–220V_{ac} (MERCADOLIVRE, 2013). Por não existir no mercado um inversor com potência menor e pelo custo envolvido foi utilizado um inversor convencional.

No caso da bateria, foi definida que a capacidade elétrica real (C_{ER}), é calculada considerando-se que a capacidade imaginária é igual à potência real (P_{RI}) mínima que o inversor deve possuir para atender as cargas de baixo consumo, ou seja, igual a 20 W. Logo, a capacidade elétrica real foi obtida utilizando a Fórmula 2:

$$C_{ER} = 20 \text{ W} / 0,90 = 22,23 \text{ W}$$

A definição da capacidade de armazenamento do sistema, considera que a autonomia será de 3 dias e a bateria a ser adquirida é automotiva e possui profundidade máxima de descarga (P_{Dmax}) igual a 20%. O cálculo é feito através de Fórmula 3:

$$C_A = (22,23\text{W} / 12\text{V}) * (3/ 0,2) = 27,79 \text{ Ah}$$

A partir da capacidade de armazenamento, foi adquirida uma bateria com capacidade (C) de 45 Ah/12 V (AJAX, 2013) e profundidade máxima de descarga (P_{Dmax}) igual a 20%, pois não foi encontrada outra com capacidade menor.

Embora seja uma bateria com valor muito acima do necessário, ela proporciona que o protótipo tenha uma autonomia maior que o período de três dias propostos.

O dimensionamento do painel fotovoltaico foi feito a partir da capacidade elétrica real (C_{ER}) relacionada ao consumo total diário (C_D). A capacidade elétrica imaginária (C_{EI}) é a potência real mínima do inversor para conexão à rede e é igual a 53,34 W.

Para perdas no sistema de 90%, a capacidade elétrica real (C_{ER}) é obtida pela Fórmula 2, resultando num valor de:

$$C_{ER} = 53,34 \text{ W} / 0,90 = 59,27 \text{ W}$$

Considerando-se a eficiência do painel a ser adquirido de 90% e a insolação do local de testes (Sorocaba) de 6 horas, o valor da capacidade de produção deve ser calculado utilizando a fórmula 7:

$$C_{Wh} = 59,27 \text{ W} / (0,90 * 6) = 10,98 \text{ Wh}$$

Sendo de 12 V a tensão de trabalho, foi obtida pela fórmula 8 a capacidade de produção (C_{Ah}), em ampere hora (Ah), resultando num valor igual a:

$$C_{Ah} = 10,98 \text{ Wh} / 12 \text{ V} = 0,92 \text{ Ah}$$

Dessa forma, a partir da capacidade de produção, foi adquirido um painel solar fotovoltaico de 20 Wp/1,16 Ah/12 Vcc (NEOSOLAR, 2013).

Para o sistema, a potência máxima de geração que ele pode ter é dada pela Fórmula 12:

$$Potmax = 1 * 20 * 0,9 = 18 \text{ Wh}$$

Multiplicando este resultado pelas horas de insolação, que é de seis horas, o sistema pode produzir por dia 108 W/dia.

A escolha do controlador foi feita a partir da tensão da instalação, que é igual a 12 V, e a corrente (A_{contr}) foi obtida através da Fórmula 13:

$$A_{contr} = 1,12 * 1,25 (13) = 1,4 \text{ A}$$

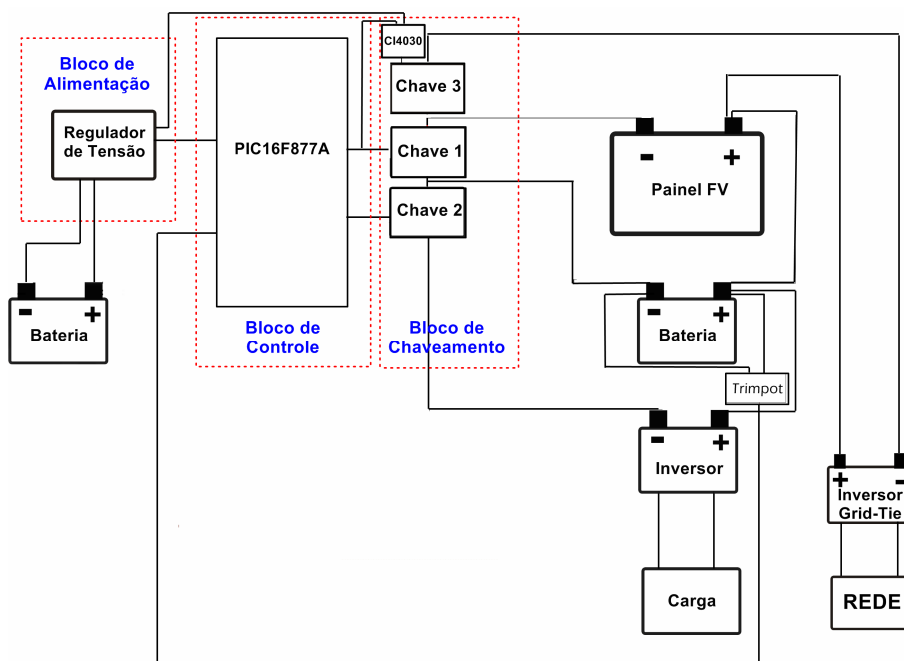
Assim, o controlador projetado deve ter corrente mínima de 1,4 A e tensão nominal de 12 V, que é a de trabalho do sistema.

Com isso, o controlador de carga desenvolvido possui configuração em série e estratégia de controle on/off, sendo sua especificação nominal de 12 V e 10 A, estando dentro dos requisitos, já que a capacidade da corrente supera a do dimensionamento do sistema, sendo por isso, adequado para esta aplicação.

O projeto do controlador estabelecido foi dividido em três blocos funcionais: bloco de alimentação, bloco de controle e bloco de chaveamento, que serão estudados separadamente para um melhor entendimento do projeto.

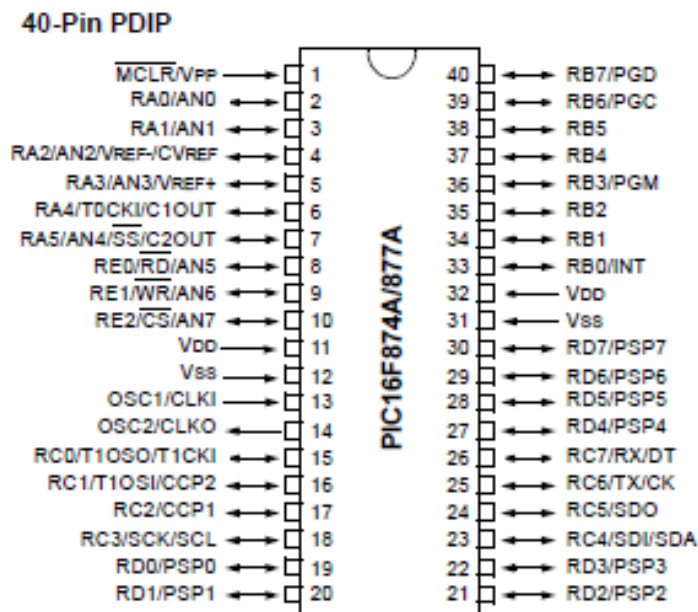
A figura 24 representa o diagrama esquemático do sistema e do controlador projetado, sendo que o seu bloco de controle é representado pelo microcontrolador PIC16F877A, que foi o utilizado no desenvolvimento do controlador, pelo fato de suas características funcionais atenderem as necessidades requeridas para o projeto. As chaves foram posicionadas nos ramos negativos e os pólos positivos foram curto-circuitados, mas poderiam ter sido realizados de modo contrário.

Figura 24 – Diagrama esquemático do sistema com o controlador de carga do tipo On/Off projetado.



O projeto do controlador tem como elemento central o PIC16F877A apresentado na figura 25. Seu desenvolvimento foi baseado nas especificações do microcontrolador e no protótipo dimensionado, iniciando pelo bloco de alimentação.

Figura 25- Pinagem do PIC16F877



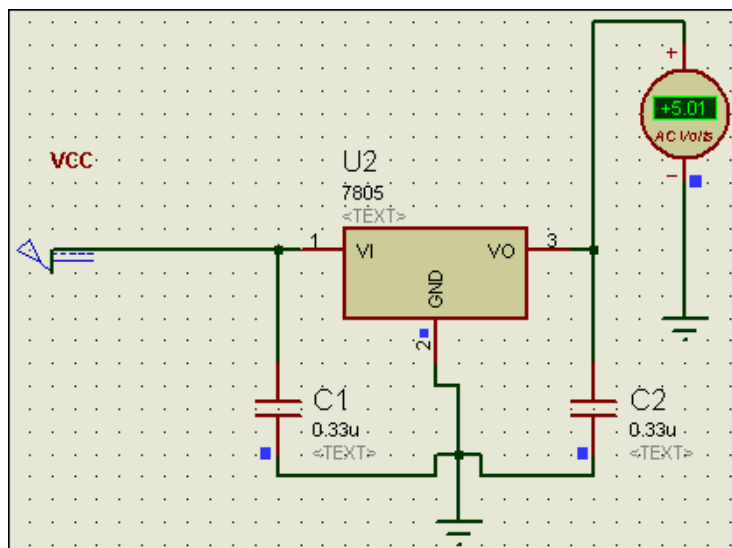
Fonte: Adaptada de Microchip. (2013)

Desse modo, como a especificação da bateria adquirida é de 45 Ah/12 V e o PIC16F877A só pode ser alimentado por no mínimo 2 V e no máximo 5,5 V (MICROCHIP, 2013), houve a necessidade de usar um regulador de tensão, pois a bateria irá alimentar o microcontrolador.

Para o bloco de alimentação foi especificado um circuito integrado, o LM7805, que é um regulador de tensão linear que se alimentado pela bateria de 12 V do sistema, mantém a tensão de saída a um valor constante de 5 V, sendo assim utilizado para a alimentação do PIC16F877A no terminal 1 do microcontrolador.

O regulador de tensão LM7805 foi montado conforme orientações de sua folha de dados [TEXASINSTRUMENTS, 2013) utilizando para isto 2 capacitores de 0,33 μ F, sendo realizada sua montagem e um simples teste no Proteus, que é um software para simulação de microprocessadores, conforme a figura 26.

Figura 26 – Teste do bloco de alimentação do sistema de controle realizado no Proteus.



Além do terminal 1, os terminais 32 e 11 do microcontrolador, de acordo com sua folha de dados (MICROCHIP, 2013), devem receber tensão de alimentação; por isso foram conectados ao regulador de tensão e os terminais 31 e 12, ligados à terra do circuito.

No projeto do controlador, para dar início ao desenvolvimento do bloco de controle, a definição dos setpoints On/Off para a bateria do protótipo é fundamental.

Como a bateria adquirida possui tensão nominal de 12 V (TAUTE, 2004), seus setpoints foram definidos como apresentados na Tabela 6 abaixo.

Tabela 6 – Setpoints do controlador On/Off

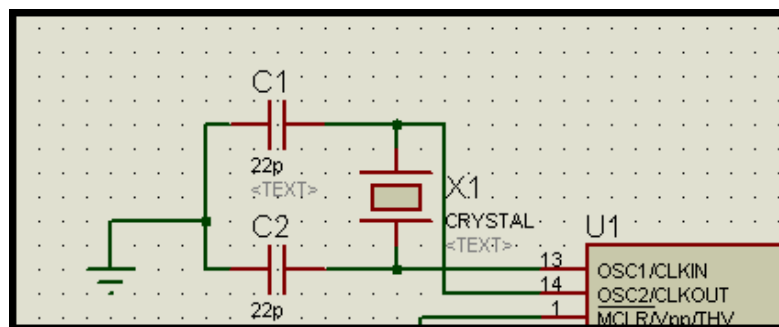
TC	TR	TRC	TDC
14,4V	13,8V	13,2V	11,8V

No bloco de controle deve ser feita a comparação da tensão do banco de baterias com os setpoints, que são os valores de referência para o correspondente controle da atuação das chaves que serão apresentadas no bloco de chaveamento.

O fator principal que justifica a escolha do PIC16F877A foi o fato dele possuir um conversor A/D, possibilitando que este realize a comparação de tensões.

Definido os setpoints, foi montado um cristal ligado a dois capacitores cerâmicos de 22 pF para manter a frequência constante do clock do microcontrolador em 4 MHz, localizado nos pinos 13 e 14 deste, sendo sua montagem mostrada na figura 27, como feito no Proteus.

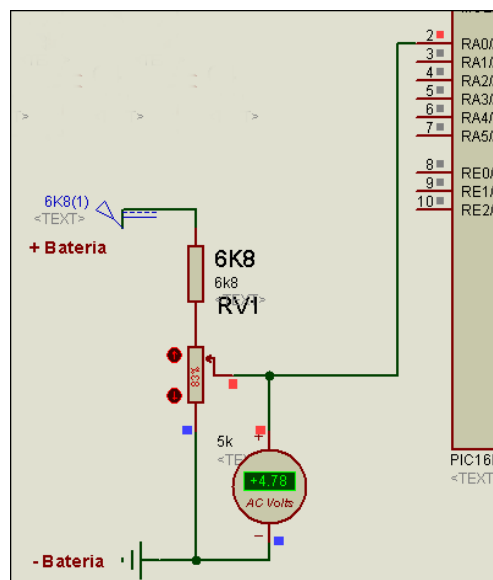
Figura 27 – Montagem do Cristal.



Os pinos 2 a 10 (exceto o pino 6) são entradas analógicas (MICROCHIP, 2013) e podem ser usados para detectar uma variação de tensão entre 0V e 5V, transformando esta variação em uma informação binária. Por isso, utilizou-se um trimpot CW3386 de 5K Ω e um resistor de 6k8 Ω em série com a bateria de 12V, criando-se um divisor para reduzir essa tensão nominal.

A saída do trimpot é conectada no terminal 2 do PIC16F877A para conversão Analógico-Digital(A/D), permitindo a realização de comparações da tensão do banco de baterias com os setpoints. A figura 28 apresenta a montagem do divisor realizada no Proteus.

Figura 28 – Montagem do trimpot e do resistor em série com a bateria.



Nesse caso, também foi preciso abaixar o valor de referência, dividindo por três os setpoints, já que os sinais de tensão que o microcontrolador é capaz de detectar estão entre 0 e 5V. Os valores desta divisão estão ilustrados na Tabela 7 abaixo.

Tabela 7 – Setpoints do controlador On/Off divididos pelo Fator 3

TC	TR	TRC	TDC
14,4 V/3	13,8 V/3	13,2 V/3	11,8 V/3
4,75 V	4,6 V	4,4 V	3,93 V

Conseqüentemente, o microcontrolador foi configurado para fazer a conversão analógica/digital de 0 a 255, utilizando apenas os 8 bits mais significativos do A/D.

Quando o nível de tensão no terminal estiver em 0 Vcc (nível mínimo), o microcontrolador irá converter para 0 (zero). Se o nível estiver em 5 Vcc (nível máximo), o microcontrolador irá converter para 255. Se estiver em 2,5 Vcc (metade do nível), será convertido para 127 (metade do intervalo) e assim por diante.

Por conseguinte, foi realizada a conversão para os setpoints expostos na Tabela 8.

Tabela 8 – Setpoints do controlador On/Off para conversão analógica/digital

TC	TR	TRC	TDC
4,75V	4,6V	4,4V	3,93V
242	234	224	200

Com os setpoints definidos, foi estabelecida a lógica do chaveamento, determinando que a chave 1 estará conectada entre o painel e a bateria e a chave 2 entre a bateria e o inversor, visando inicialmente o seu funcionamento como isolado, conforme mostrado na Tabela 9 abaixo:

Tabela 9 – Lógica utilizada para o controle do sistema fotovoltaico funcionando como isolado

Condição	Chave 1 – Painel/ Bateria	Chave 2 – Bateria/Inversor
		–

Bateria < 3,93V	Fechada	Aberta
4,4V > Bateria > 3,93V	Fechada	Tensão subindo – Aberta / Tensão descendo – Fechada
4,6V > Bateria > 4,4V	Fechada	Fechada
4,75V > Bateria > 4,6V	Tensão subindo - Fechada / Tensão descendo – Aberta	Fechada
Bateria > 4,75V	Aberta	Fechada

Após a lógica definida, foi implementado o código de comparação para o funcionamento do bloco de chaveamento do controlador On/Off projetado. O programa completo desenvolvido em Assembly está apresentado no apêndice A.

Para finalizar o projeto do controlador, foi elaborado o bloco de chaveamento para ser adicionado nas saídas 19 (Chave 1) e 20 (Chave 2) do microcontrolador. Essas saídas são digitais e assumem apenas dois estados: 0 ou 5V.

Optou-se pela escolha de dois relés para serem acoplados a essas saídas e funcionarem como chaves. Assim sendo, as especificações foram embasadas nas realizadas para o protótipo.

Como o controlador necessário para atender o sistema deveria ser de 12 V e 1,14 A, foi decidida pela escolha de relés com tensão nominal de 12 V e capacidade de 10A/125V, sendo então as do controlador (12 V/10 A)

Portanto, para garantir o funcionamento do relê com segurança, foi necessário adicionar ao circuito, resistores, transistores e diodos.

Foi adicionado um resistor de 10 K Ω logo após a saída de 19 e outro na 20, para limitar a correntes nas bases dos transistores, conectados em 0,5 mA, que é sua corrente de saturação de acordo com a folha de dados do BC337 (FAIRCHILD, 2013), utilizado nesse projeto.

Este resistor é acrescentado ao circuito, tendo em vista que se o microcontrolador assumir o estado de 5V na sua saída, o transistor satura com 0,0005 A (FAIRCHILD, 2013). Assim, pela primeira lei de Ohm, basta realizar a divisão da tensão pela corrente e se obtém um resistência igual a 10 K Ω , que além de saturar o transistor, protege o microcontrolador evitando sua queima.

Para o relê funcionar, é necessário uma corrente em torno de 25 mA, no mínimo. O transistor possui um beta (ganho) igual a 100; a corrente de 0,0005 A, quando saturar

o transistor, será multiplicada pelo ganho; deste modo, a corrente que deve circular entre coletor e emissor do transistor deve ser em torno de 50 mA, enviando então a corrente necessária para o relê ser ativado

O seu funcionamento se dá devido à bobina existente em seu circuito, que gera um campo magnético, garantindo o fluxo da corrente, passando do estado normalmente aberto para o estado normalmente fechado. Portanto, ele servirá como um atuador, sendo ativado pelo comando que vem do microcontrolador.

Um diodo 1N4007 foi colocado entre a bobina do relê para proteger o transistor, pois ele reversamente polarizado faz com que a corrente do relê atue em um ciclo.

Na saída 20 do relé do microcontrolador, designada para fazer a ligação da bateria para o inversor, foi adicionado um fusível, com o intuito de proteger o sistema contra sobrecorrentes.

Assim sendo, o bloco de chaveamento do controlador está pronto para atender com exclusividade um sistema isolado, tendo em vista que os blocos de alimentação, controle e chaveamentos estão concluídos.

O sistema deve ser conectado à rede quando as baterias estiverem carregadas, ou seja, sempre que a tensão de corte for atingida por elas, Deve permanecer conectado até que a tensão de reconexão seja atingida.

A lógica do chaveamento do sistema englobando o conectado foi estabelecida conforme apresentada na Tabela 10 abaixo:

Tabela 10 – Lógica utilizada para o controle do sistema fotovoltaico funcionando por completo.

Condição	Chave 1 – Pannel/ Bateria	Chave 2 – Bateria /Inversor	Chave 3 – Pannel /Inversor Grid-Tie
Bateria < 3,93V	Fechada	Aberta	Aberta

4,4V > Bateria > 3,93V	Fechada	Tensão subindo – Aberta / Tensão descendo – Fechada	Aberta
4,6V > Bateria > 4,4V	Fechada	Fechada	Aberta
4,75V > Bateria > 4,6V	Tensão subindo - Fechada / Tensão descendo – Aberta	Fechada	Tensão subindo –Aberta / Tensão descendo – Fechada
Bateria > 4,75V	Aberta	Fechada	Fechada

Observando a lógica do chaveamento da chave 1 e da chave 3, é verificado que a sempre estarão em posição contrária, ou seja, quando o microcontrolador enviar sinal para a chave 1, ela irá fechar e o sistema funcionará como isolado, caso contrário como conectado à rede.

Acrescentou-se outra chave (3), utilizando um relê e montando o seu circuito de acionamento com o mesmo resistor, transistor e diodo que as chaves 1 e 2 possuem. Em contrapartida, ela foi conectada ao CI4030 (PROTEC, 2013) que é uma porta ou exclusiva.

Logo, a chave só poderá ser ativada se as entradas tiverem níveis diferentes de tensão, ou seja, 0 e 5 V, indiferentemente da ordem.

Uma das entradas da porta é conectada logo após a saída 19 do microcontrolador, podendo ser alta ou baixa, de acordo com a tensão da bateria, ou seja, apenas quando a tensão de corte ou a de reconexão for atingida. A outra entrada na saída do regulador de tensão que alimenta o microcontrolador, é sempre alta.

A lógica é apresentada na Tabela 11 abaixo:

Tabela 11 – Lógica utilizada para o controle das chave 1 e 3.

Condição	Tensão no regulador	Tensão na saída 19	Chave 1 – Painel/ Bateria	Chave 3 - Painel /Inversor Grid-Tie
Bateria < 3,93V	5V	5V	Fechada	Aberta

4,4V > Bateria > 3,93V	5V	5V	Fechada	Aberta
4,6V > Bateria > 4,4V	5V	5V	Fechada	Aberta
4,75V > Bateria > 4,6V	5V	5V/0V	Tensão subindo - Fechada / Tensão descendo-Aberta	Tensão subindo – Aberta / Tensão descendo–Fechada
Bateria > 4,75V	5V	0V	Aberta	Fechada

Foram adicionados leds em paralelo com diodos a cada relé conectado a resistores de 1,2 K Ω , para indicar quando as chaves 1, 2 e 3 estarão acionadas, sendo assim chamados respectivamente de led 1, led 2 e led 3.

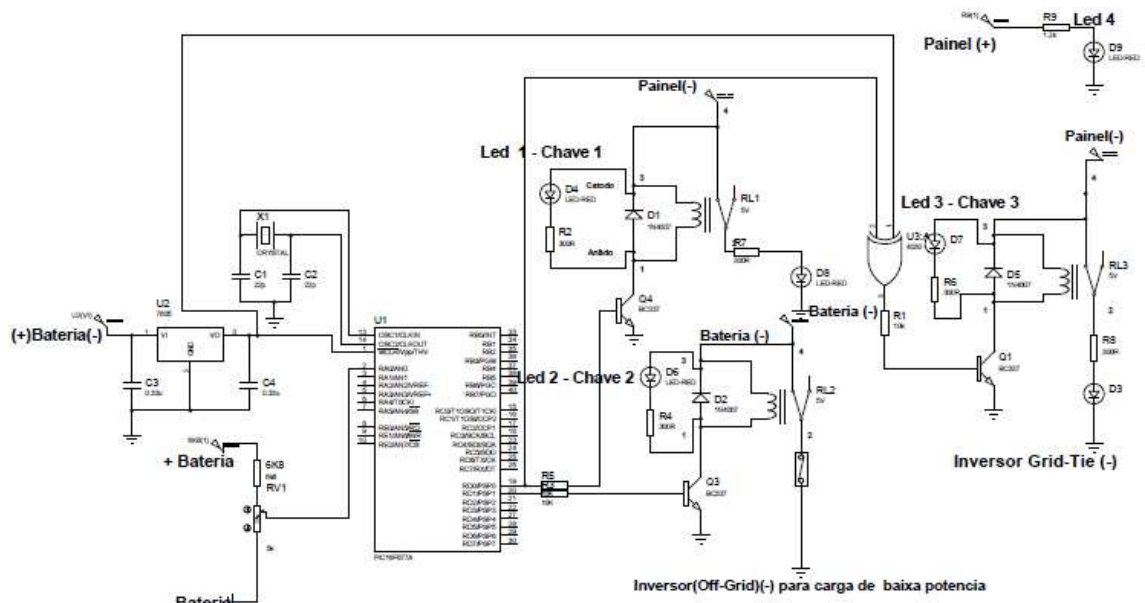
Foi feita uma conexão entre o positivo da placa e o controlador de um quarto led com um resistor de 1,2 K Ω . Estes leds devem informar ao usuário como seu sistema está funcionando, para que ele saiba como deverá realizar a utilização dos equipamentos de sua residência, a fim de poder otimizar seus gastos relacionados a energia elétrica.

Portanto, para os led 1, 2, 3 e 4 são adotadas condições:

- Led 4 desligado – o sistema está desativado;
- Led 1 e 4 ligados e led 3 desligado – o sistema está funcionando como isolado e carregando as baterias;
- Led 3 e 4 ligados e led 1 desligado – o sistema está funcionando como conectado à rede. O usuário poderá utilizar as cargas de alta potência, injetando o excedente à rede se ele estiver produzindo mais do que estiver consumido, ou irá enviar toda energia gerada à rede;
- Led 2 ligado – é possível a utilização das cargas de baixa potência;
- Led 2 desligado – não é permitida a utilização das cargas de baixa potência.

Em seguida, é realizada a montagem completa do circuito no Proteus, sendo que os leds que estão conectados ao sistema sem resistores representam os terminais negativos da bateria (chave1), do inversor (chave2) e do inversor grid-tie (chave3). Seus terminais positivos ligados seguem o diagrama da figura 24, visto anteriormente. A implementação do protótipo é feita de acordo com o diagrama esquemático abaixo:

Figura 29 - Diagrama esquemático do controlador On/Off.



As conexões por onde a corrente nominal deve circular foram feitas com cabo de cobre de 6 mm², para conduzir altas correntes, diminuindo as perdas e o aquecimento do conjunto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir do sistema fotovoltaico, projetado foram realizados os primeiros testes através de uma simulação no programa Proteus, para verificar o desempenho do programa desenvolvido em Assembly utilizando o MPLAB

Um potenciômetro fez a variação da tensão, até que esta cobrisse toda a faixa de carregamento e descarregamento.

O programa desenvolvido juntamente com o controlador implementado no Proteus mostrou que, a partir da comparação dos valores de referências (setpoints) e das tensões de entrada para atuação das chaves 1, 2 e 3 houve uma diferença insignificante em relação as teóricas. Portanto, é capaz de realizar a integração dos sistemas fotovoltaicos, como especificado na Tabela 10 e apresentado na Tabela 12 abaixo.

Tabela 12 – Setpoints e estados de atuação das chaves da simulação do controlador.

Condição	Chave 1 – Pannel/ Bateria	Chave 2 – Bateria /Inversor	Chave 3 – Pannel /Inversor Grid-Tie
Bateria < 3,92V	Fechada	Aberta	Aberta
4,44V > Bateria > 3,92V	Fechada	Tensão subindo – Aberta / Tensão descendo – Fechada	Aberta
4,55V > Bateria > 4,44V	Fechada	Fechada	Aberta
4,78V > Bateria > 4,55V	Tensão subindo - Fechada / Tensão descendo – Aberta	Fechada	Tensão subindo –Aberta / Tensão descendo – Fechada
Bateria > 4,78V	Aberta	Fechada	Fechada

Os testes no protótipo implementando tiveram início com a utilização de uma fonte de tensão para simular a variação de tensão no banco de baterias, até cobrir todos os estados possíveis de carregamento e descarregamento. Em seguida, foi realizada a medição da tensão na saída do regulador e verificou-se que a mesma é de 4,98 V, conforme esperado.

Na saída do potenciômetro, antes de conectar ao terminal 2 do microcontrolador é colocada uma fonte com uma tensão de 14,4 V para simular a bateria totalmente carregada e a fim de verificar se sua tensão de saída não estava acima de 5 V.

Desse modo, quando a tensão na bateria for de 14,4 V, calibra-se para sua saída seja de 4,75 V, permitindo a leitura das tensões provenientes da bateria, para comparação com o setpoint estabelecido.

Utilizando um multímetro na entrada do terminal 2, a tensão foi progressivamente e regressivamente variada no potenciômetro, até cobrir todos os estados possíveis de níveis de bateria para uma comparação do setpoint.

A visualização do momento exato de transição foi vista através da ativação dos leds 1, 2 e 3. A Tabela 13 abaixo mostra um comparativo dos valores de tensão de corte (TC), tensão de reconexão (TR), tensão de reconexão da carga (TRC) e a tensão de desconexão da carga (TDC) obtida utilizando um multímetro no protótipo e os teóricos previamente definidos.

Tabela 13 - Valores dos setpoints do controlador On/Off projetado x teóricos.

	TC	TR	TRC	TDC
Protótipo	4,72V	4,55V	4,35V	3,91V
Teórico	4,75V	4,6V	4,4V	3,93V

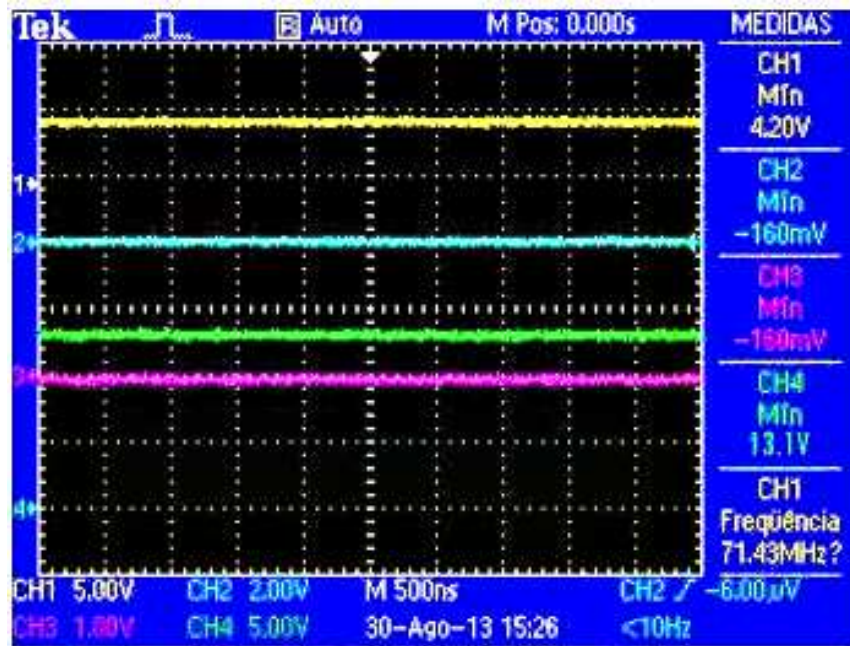
A partir da calibração efetuada novamente, foi dado início a um novo teste para a verificação do funcionamento do controlador projetado em relação aos setpoints definidos, mas a variação de tensão no banco de baterias foi realizada através de uma fonte de tensão.

Para comprovação, foi utilizado um osciloscópio, posicionando seus canais 1, 2 e 3 respectivamente nas saídas do microcontrolador (terminal 19 e 20), que em nível alto aciona a chave 1 e 2; assim como na saída do CI4030 que ativa a chave 3, para permitir a visualização do momento exato de transição.

A tensão foi progressivamente variada até cobrir todos os estados possíveis de carregamento e descarregamento da bateria, posicionando o canal 4 para medir esta variação.

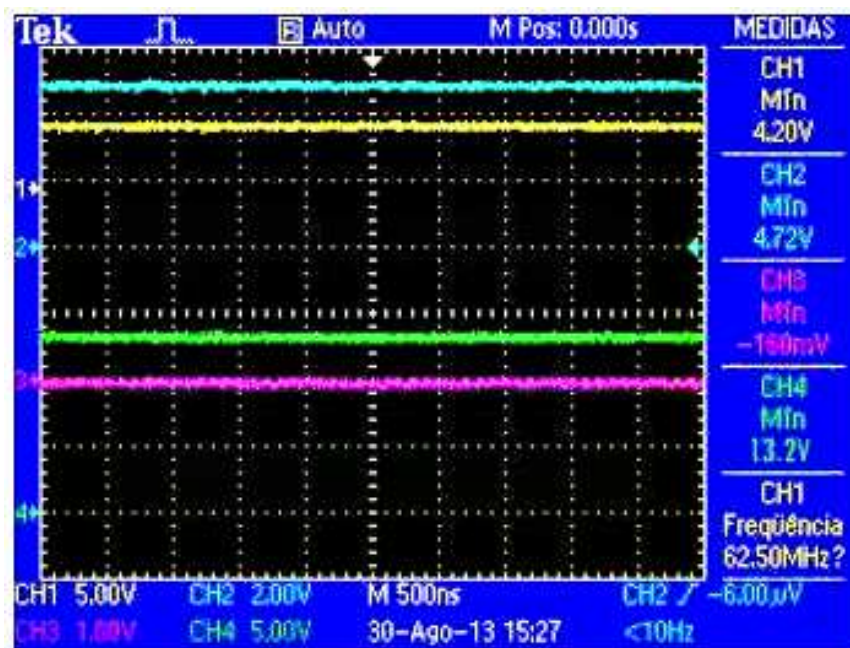
Nas figuras abaixo estão apresentadas a tensão na fonte no exato momento do acionamento das chaves e de seus leds.

Figura 30 – Estado de carregamento com tensão de 13,1V, chave 1 acionada.



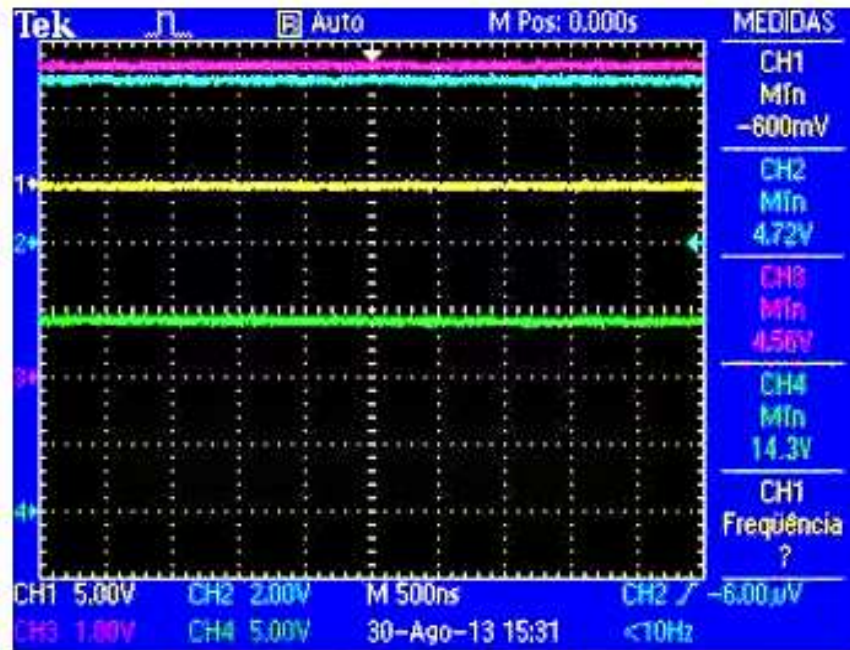
TDS 2014 - 03:34:00 8/7/2005

Figura 31 – Estado de carregamento com tensão de 13,2V, chave 1 e 2 acionada.



TDS 2014 - 03:35:48 8/7/2005

Figura 32 – Estado de carregamento com tensão de 14,3V, chave 2 e 3 acionada.



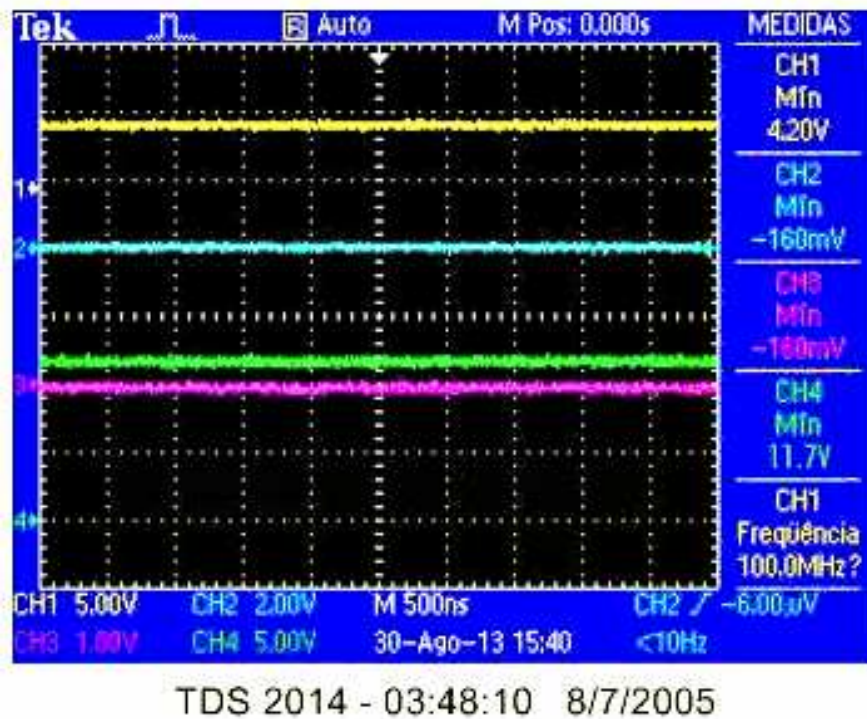
TDS 2014 - 03:38:51 8/7/2005

Figura 33 – Estado de descarregamento com tensão de 13,8V, chave 1 e 2 acionada.



TDS 2014 - 03:44:46 8/7/2005

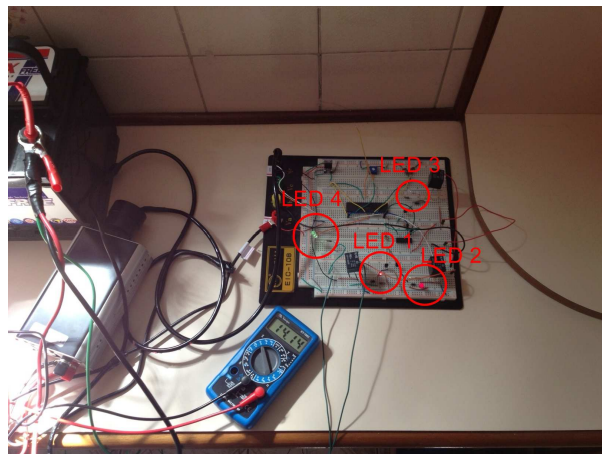
Figura 34 – Estado de descarregamento com tensão de 11,7V, chave 1 acionada.



Para analisar se o led 4 estava informando a condição correta (se o sistema está desativado ou não, ou seja, se estiver produzindo energia deve estar ligado, caso contrário, não) foi realizado um terceiro teste no controlador.

Em seguida, o protótipo foi montado como pode ser vista na figura 35 e o painel exposto ao sol antes de conectar o painel ao controlador. O led 4 permaneceu desligado, porém assim que foi efetuada sua conexão, o led acendeu.

Figura 35 – Protótipo do sistema fotovoltaico montado para testes.



De acordo com os testes feitos, foi constatado que o controlador é capaz de fazer com que o sistema funcione tanto como sistema isolado quanto como conectado à rede, permitindo a integração.

Foi visto também que os leds estavam atuando de acordo com os setpoints teóricos previamente definidos na tabela 10, bem como para tomar a decisão de como o sistema deverá trabalhar, priorizando sempre o carregamento das baterias. Com relação ao controlador, o seu funcionamento foi normal, isto é, dentro das especificações adotadas para gerenciamento de uma rede inteligente.

Um teste em conjunto foi realizado com o objetivo de verificar se o sistema desenvolvido pode atender o consumo total diário (CD) de 48 W/dia, ou seja, de 1,46 KWh/mês que foi proposto a partir do escalonamento de uma residência com consumo médio de 200 KWh/mês.

Como o sistema deverá produzir uma média de 10,98 Wh, foram realizadas medidas de corrente e tensão provenientes do painel que foi posicionado para o norte geográfico, sendo o ângulo de incidência solar adotado de 0° para o teste.

Foi utilizado para isso, um multímetro alocado na saída do controlador, já que tem um consumo, durante o período de 6 horas (média anual de insolação especificada para a localidade em que o sistema deve ser instalado), para saber a potência entregue a bateria.

O teste foi feito entre as 10 h e as 16 horas, para estimar uma média e ver se a potência atende ao especificado, estando os resultados apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Valores da potência entregue pelo controlador a bateria.

Horas (h)	Tensão de saída	Corrente de saída	Potência
10:00 h	13,64 V	1,084 A	14,786 W
10:30 h	13,70 V	1,104 A	15,125 W
11:00 h	13,55 V	1,075 A	14,567 W
11:30 h	13,82 V	1,123 A	15,529 W
12:00 h	13,88 V	1,125 A	15,615 W
12:30 h	14,02 V	1,127 A	15,800 W
13:00 h	14,15 V	1,129 A	15,975 W
13:30 h	14,30 V	1,130 A	16,159 W
14:00 h	14,33 V	1,131 A	16,207 W
14:30 h	14,29 V	1,129 A	16,133 W
15:00 h	13,97 V	1,125 A	15,716 W
15:30 h	13,79 V	1,108 A	15,279 W
16:00 h	13,64 V	1,082 A	14,758 W

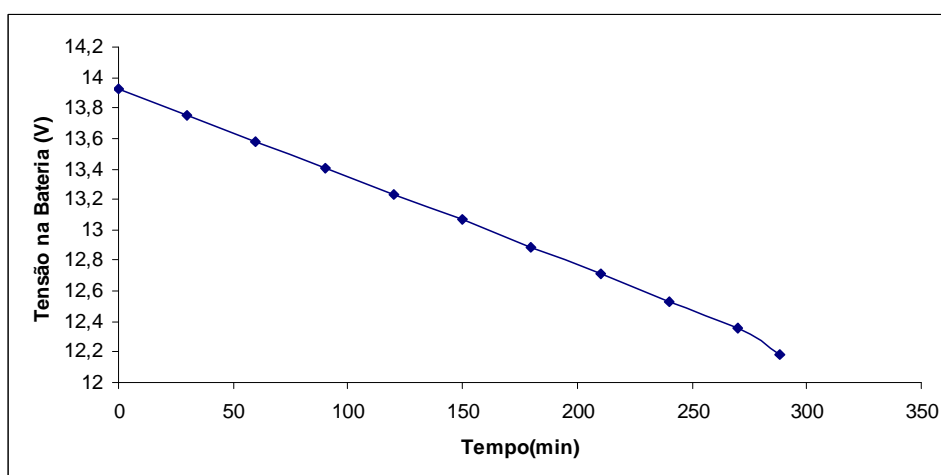
Na média das potências, obteve-se o valor de 15,512 W. No entanto, considerando as perdas na fiação, bateria, auto-descarga e eficiência do inversor, o valor foi multiplicado por 0,8 chegando a uma produção média real de 12,410 Wh. Esse resultado mostra que o sistema é capaz de atender um sistema com consumo total diário de 48 W/dia, já que produz uma média superior a 10,98 Wh.

Finalmente, foi dado início ao último teste. A bateria foi carregada até quase a sua capacidade máxima, ou seja, quando a sua tensão marcava o valor 13,93 V, o painel solar foi desligado.

Em seguida foi conectada uma lâmpada de 30 W/127 V ao inversor, durante 288 minutos, já que nesse período o consumo da bateria corresponde ao consumo de 3 dias das cargas de baixo consumo especificadas no protótipo, para avaliar a autonomia real do sistema.

Nesse teste, a cada hora, foi medida a tensão na bateria utilizando um multímetro e observando se o led 2 do controlador permaneceu ligado ou não, sendo obtidos os resultados apresentados no gráfico abaixo:

Figura 36 - Valores de tensão na bateria x tempo coletados no teste de autonomia do protótipo.



Esse gráfico avalia o comportamento da bateria em relação ao tempo e ao led 2, que permaneceu sempre ligado, demonstrando que o sistema está dimensionado para ter uma autonomia de 288 minutos.

4.1 Considerações Finais

Com relação aos aspectos econômicos do projeto, o grande empecilho ainda existente para implantação de sistemas fotovoltaicos em residências é o alto custo de investimento, que está assim distribuído:

- 80% do investimento correspondem à aquisição de equipamentos principais de um sistema, que são os inversores, placas solares, bateria e controladores;
- O restante corresponde aos gastos (G_i) decorrentes de mão de obra, equipamento de içamento e materiais a serem utilizados na instalação, como elementos de fixação, cabos, disjuntores, fusíveis, etc (SILVA, 2013);

Para realizar uma avaliação simples da viabilidade econômica desse projeto, foi adotado o valor de um controlador vendido comercialmente que possui características de tensão e corrente iguais às do projeto.

A Tabela 15 apresenta a especificação técnica de cada equipamento que compõe o projeto, bem como a quantidade, vida útil, valor unitário e o valor total.

Tabela 15 – Relação do valor total dos equipamentos do sistema.

Equipamento	Qtd	Vida útil(anos)	Valor(R\$)	Valor Total(R\$)
Inversor (onda modifica)-1000W/24Vcc/127Vac/60Hz	1	15 anos	R\$299,00	R\$299,00
Inversor (onda senoidal)-500W/24Vcc/127Vac/60Hz	9	15 anos	R\$485,00	R\$4365,00
Inversor (onda senoidal)-500W/24Vcc/220Vac/60Hz	1	15 anos	R\$485,00	R\$485,00
Bateria Estacionária - 220Ah/12Vcc	12	05 anos	R\$ 929,00	R\$11148,00
Inversor(grid-tie)-5000W/14Vcc-28Vcc/110Vca-220Vac/60Hz	2	15 anos	R\$4490,00	R\$8980,00
Painel Fotovoltaico-240Wh/8,14Ah/12Vcc	16	30 anos	R\$ 999,00	R\$15984,00
Controlador de Carga-40A/12Vcc-24Vcc	2	10 anos	R\$1149,00	R\$2298,00
				Total:43489,00

O custo para instalação (G_i) é estimado em 20% do custo total dos equipamentos (V_{TE}) e é calculado pela Fórmula 14.

$$G_i = V_{TE} * 0,2 \quad (14)$$

Assim, para o sistema proposto, o gasto para instalação (G_i) seria de:

$$G_i = R\$ 43489,00 * 0,2 = R\$ 8697,80$$

Somando o custo dos equipamentos mais o custo de instalação temos o custo da implantação que é de R\$51.186,80.

A Tabela 16 apresenta a quantidade de equipamentos substituídos em 30 anos e o custo de implantação.

Tabela 16 – Relação de equipamentos do sistema em 30 anos com valor de custo.

Equipamento	Qtd	Vida útil(anos)	Valor(R\$)	Valor Total(R\$)
Inversor (onda modifca)-1000W/24Vcc/127Vac/60Hz	2	15 anos	R\$299,00	R\$598,00
Inversor (onda senoidal)-500W/24Vcc/127Vac/60Hz	18	15 anos	R\$485,00	R\$8730,00
Inversor (onda senoidal)-500W/24Vcc/220Vac/60Hz	2	15 anos	R\$485,00	R\$970,00
Bateria Estacionária - 220Ah/12Vcc	36	05 anos	R\$ 929,00	R\$66888,00
Inversor(grid-tie)-5000W/14Vcc-28Vcc/110Vca-220Vac/60Hz	4	15 anos	R\$4490,00	R\$17960,00
Painel Fotovoltaico-240Wh/8, 14Ah/12Vcc	16	30 anos	R\$ 999,00	R\$15984,00
Controlador de Carga-40A/12Vcc-24Vcc	6	10 anos	R\$1149,00	R\$6894,00
				Total:R\$118024,00

Com base na especificação do sistema, o valor total de implantação (V_{TI}) é de:

$$V_{TI} = R\$ 118.024,00 + R\$ 8.274,60 = R\$ 126.298,60$$

O cálculo do máximo potencial de geração (P_{GER}), em KWh, do sistema fotovoltaico ao longo de um ano é dado pela Fórmula 15:

$$P_{GER} = (N * W_p * E_p * I_D * 365)/1000 \quad (15)$$

Onde:

N = número de painéis que compõe o sistema;

W_p = potências de pico do painel;

E_p = eficiência de geração do painel;

I_D = Insolação diária (igual a 6 horas);

Para o sistema proposto, o potencial de geração é dado por:

$$P_{GER} = (16 * 240 * 0,9 * 6 * 365)/1000$$

$$P_{GER} = 7568,64 \text{ KWh/ano}$$

O valor cobrado por quilowatt-hora em reais (R\$/kWh), multiplicado pelo potencial de geração, resulta na probabilidade de economia (PE) dada em reais (R\$) por ano, que o sistema fornecerá em 1 ano, conforme a Fórmula 16:

$$PE = R\$/kWh * P_{GER} \quad (16)$$

A concessionária de distribuição que atende a cidade de São José dos Campos é a Bandeirante Energia S/A e o valor de sua tarifa é de R\$ 0,39351032 por quilowatt-hora.

Esse valor foi obtido no faturamento impresso na conta de uma residência nessa cidade, conforme mostrado na figura 37, que se refere à tarifa homologada pela ANEEL, expressa na unidade R\$/kWh (reais por quilowatt-hora) com os tributos e outras taxas que fazem parte da conta de luz.

Figura 37 – Detalhes de faturamento da conta de um consumidor residente em São José dos Campos.

Detalhes de Faturamento			
Descrição	Quantidade	Preço Médio	Total (R\$)
Consumo	339 KWH	0,39351032	133,40

Considerando o potencial de geração do sistema de 7568,64 KWh por ano e o valor do KWh de R\$0,39351032, o valor máximo da probabilidade de economia é de:

$$PE = R\ \$ 0,39351032 * 7568,64 \text{ KWh} = R\ \$ 2978,34/\text{ano}$$

Fazendo a divisão do valor total da implantação do sistema que é de R\$ 126.298,60, pela probabilidade de economia (PE) máxima, que é de R\$ 2978,34 por ano, é obtido um período de 42 anos, tempo que o usuário deve pagar pelo sistema.

Tendo em vista que os painéis fotovoltaicos possuem uma vida útil de 30 anos (NEOSOLAR, 2013), o sistema proposto não é viável economicamente para instalação em residências que possuem um consumo médio de 200 KWh/mês.

Porém, a tendência é se fazer como em muitos países, onde o desenvolvimento tecnológico e políticas de incentivo vêm fazendo com que a energia fotovoltaica se

torne uma das alternativas mais importantes para produção energética, pois ela alivia o sistema como um todo e de forma sustentável (JANNUZZI, et al., 2009).

É importante ressaltar que os valores dos equipamentos de um sistema fotovoltaico são elevados no mercado nacional, se houvesse um maior investimento em implantação de sistema fotovoltaico, ocorreria a redução. Na atual situação são esperados maiores reduções pelo fato de seus preços no exterior terem diminuído (EPE, 2012), embora os custos estejam atrelados à variação do dólar.

Por outro lado, o crescimento de geração de energia aplicando o sistema fotovoltaico no Brasil, ocorrerá se o governo adotar uma política de incentivo, com dedução de impostos de importação e sem pensar na hipótese de haver desenvolvimento de painéis mais eficiente, acumuladores com uma vida útil mais elevada, implantação em residências em alta escala, principalmente com financiamento pelo governo federal.

Assim, o Brasil conseguiria dar um grande passo no desenvolvimento sustentável a partir de um sistema viável, no que diz respeito a questões de ordem ambientais, sociais, energéticas e econômicas.

No entanto, se fosse realizada uma nova pesquisa de preço considerando que o governo brasileiro retirasse os impostos para compra dos equipamentos e aliando às ofertas disponíveis de baterias e painéis no exterior, com certeza poderíamos ter um novo panorama para implantação do sistema fotovoltaico no Brasil.

Na Tabela 17, está apresentada uma relação dos equipamentos especificados no projeto, quantidade necessária com as opções encontradas, vida útil e o valor que seria gasto com a compra..

Tabela 17 – Relação de equipamentos do sistema com valor de custo.

Equipamento	Qtd	Vida útil(anos)	Valor(R\$)	Valor Total(R\$)
Inversor (onda modifica)-1000W/24Vcc/127Vac/60Hz	1	15 anos	R\$299,00	R\$299,00
Inversor (onda senoidal)-500W/24Vcc/127Vac/60Hz	9	15 anos	R\$485,00	R\$4365,00
Inversor (onda senoidal)-500W/24Vcc/220Vac/60Hz	1	15 anos	R\$485,00	R\$485,00
Bateria EurSolar gel - 100 Ah/12Vcc	24	10 anos	R\$ 549,16	R\$13179,84
Inversor(grid-tie)-5000W/14Vcc-28Vcc/110Vca-220Vac/60Hz	2	15 anos	R\$4490,00	R\$8980,00
Painel Fotovoltaico-250Wh/8,26Ah/12Vcc	16	30 anos	R\$ 572,05	R\$9152,80
Controlador de Carga-40A/12Vcc-24Vcc	2	10 anos	R\$1149,00	R\$2298,00
				Total:R\$38759,64

O custo para sua instalação (Gi), estimado em 20% do custo total dos equipamentos do sistema fotovoltaico projetado, está apresentado abaixo.

$$Gi = R\$ 38759,64 * 0,2 = R\$ 7.751,93$$

Portanto, o valor total do investimento inicial está estimado em:

$$R\$38.759,64 + R\$7.751,93 = 46.511,57$$

A Tabela 18 mostra quantidade e os custos dos equipamentos para manter o sistema operando por um período de 30 anos, considerando que esse tempo é a vida útil do painel fotovoltaico.

Tabela 18 – Relação de equipamentos do sistema em 30 anos e os custos.

Equipamento	Qty	Vida útil(anos)	Valor(R\$)	Valor Total(R\$)
Inversor (onda modifica)-1000W/24Vcc/127Vac/60Hz	2	15 anos	R\$299,00	R\$598,00
Inversor (onda senoidal)-500W/24Vcc/127Vac/60Hz	18	15 anos	R\$485,00	R\$8730,00
Inversor (onda senoidal)-500W/24Vcc/220Vac/60Hz	2	15 anos	R\$485,00	R\$970,00
Bateria EurSolar gel - 100 Ah/12Vcc	72	10 anos	R\$ 549,16	R\$39537,00
Inversor(grid-tie)-5000W/14Vcc-28Vcc/110Vca-220Vac/60Hz	4	15 anos	R\$4490,00	R\$17960,00
Painel Fotovoltaico-250Wh/8,26Ah/12Vcc	16	30 anos	R\$ 572,05	R\$9152,80
Controlador de Carga-40A/12Vcc-24Vcc	6	10 anos	R\$1149,00	R\$6894,00
				Total:R\$83841,80

O valor total de implantação (V_{TI}) do sistema proposto pode ser dado por:

$$V_{TI} = R\$ 83841,80 + R\$ 7751,93 = R\$ 91593,73$$

Somando o valor do investimento inicial com o valor do custo O&M por um período de 30 anos, obtém-se o custo total do empreendimento. Dividindo esse valor por R\$2.978,34, que é a probabilidade de economia máxima (PE) por ano, resulta no número de anos que o usuário deverá zerar o investimento, ou seja, 30,75 anos.

Tendo em vista que os painéis fotovoltaicos possuem uma vida útil de 30 anos [69], o resultado acima mostra que não é economicamente viável a sua instalação em residências com consumo médio de 200 KWh/mês.

Mas, se for levado em consideração o aumento da tarifa devido ao eventual reajuste tarifário anual ou de revisão tarifária periódica, esse sistema poderá começar a se mostrar economicamente viável.

Nesse contexto, é importante ressaltar que em muitos países o incentivo mais utilizado à geração fotovoltaica é o sistema de preços chamado de tarifa-prêmio, em que toda a energia produzida pela unidade de geração é vendida por um valor mais elevado que a tarifa das concessionárias, garantindo ao investidor um retorno garantido e proporcionando assim, maior viabilidade econômica para a implantação desses sistemas (BRASIL, 2009).

No entanto, o melhor sistema proposto integrado para atender a uma residência de 200 KWh/mês, deve possuir o sistema isolado para desafogar a rede nos horários de ponta, e também um sistema interligado que pudesse dispor a energia produzida à rede.

O dimensionamento previu que o usuário pode vender a mesma quantidade que consome, tendo o dobro de painéis e inversores que conectam à rede para um total de 14.612 W. Como já foram usados dois inversores de 5000 W, é necessário apenas mais um para completar 15.000 W.

A relação de todos os equipamentos especificados a partir do projeto é apresentada na Tabela 19.

Para esta alternativa, foi definida a quantidade necessária com base nas opções encontradas no exterior, vida útil, valor que seria gasto com a compra dos equipamentos e o valor total da instalação.

Tabela 19 – Relação de equipamentos do sistema com valor de custo.

Equipamento	Qty	Vida útil(anos)	Valor(R\$)	Valor Total(R\$)
Inversor (onda modifica)-1000W/24Vcc/127Vac/60Hz	1	15 anos	R\$299,00	R\$299,00
Inversor (onda senoidal)-500W/24Vcc/127Vac/60Hz	9	15 anos	R\$485,00	R\$4365,00
Inversor (onda senoidal)-500W/24Vcc/220Vac/60Hz	1	15 anos	R\$485,00	R\$485,00
Bateria EurSolar gel - 100 Ah/12Vcc	24	10 anos	R\$ 549,16	R\$13179,84
Inversor(grid-tie)-5000W/14Vcc-28Vcc/110Vca-220Vac/60Hz.	3	15 anos	R\$4490,00	R\$13470,00
Painel Fotovoltaico-250Wh/8,26Ah/12Vcc	32	30 anos	R\$ 572,05	R\$18305,60
Controlador de Carga-40A/12Vcc-24Vcc	2	10 anos	R\$1149,00	R\$2298,00
				Total:R\$52402,44

O custo para sua instalação (Gi), estimado em 20% do custo total dos equipamentos do sistema fotovoltaico projetado, está apresentado abaixo

Assim, os gastos com a instalação (Gi) para o sistema seriam de:

$$Gi = R\$ 52402,44 * 0,2 = R\$ 10480,49$$

Portanto, o valor total do investimento inicial está estimado em:

$$R\$52.402,44 + R\$10480,49 = 62.882,93$$

A Tabela 20 mostra quantidade e os custos dos equipamentos para manter o sistema operando por um período de 30 anos que é a vida útil do painel fotovoltaico.

Tabela 20 – Relação de equipamentos do sistema em 30 anos com valor de custo.

Equipamento	Qty	Vida útil(anos)	Valor(R\$)	Valor Total(R\$)
Inversor (onda modifica)-1000W/24Vcc/127Vac/60Hz	2	15 anos	R\$299,00	R\$598,00
Inversor (onda senoidal)-500W/24Vcc/127Vac/60Hz	18	15 anos	R\$485,00	R\$8730,00
Inversor (onda senoidal)-500W/24Vcc/220Vac/60Hz	2	15 anos	R\$485,00	R\$970,00
Bateria EurSolar gel - 100 Ah/12Vcc	72	10 anos	R\$ 549,16	R\$39537,00
Inversor(grid-tie)-5000W/14Vcc-28Vcc/110Vca-220Vac/60Hz	6	15 anos	R\$4490,00	R\$26940,00
Painel Fotovoltaico-250Wh/8,26Ah/12Vcc	32	30 anos	R\$ 572,05	R\$18305,60
Controlador de Carga-40A/12Vcc-24Vcc	2	10 anos	R\$1149,00	R\$2298,00
				Total:R\$97378,60

O valor total de implantação (V_{TI}) do sistema proposto é dado por:

$$V_{TI} = R\$ 97378,60 + R\$ 10480,49 = R\$ 107859,09$$

Realizando o cálculo do potencial máximo de geração (P_{GER}), em KWh, do sistema fotovoltaico ao longo de um ano, foi obtido o valor de 15.137,28 KWh/ano. Logo, o valor da probabilidade de economia máxima é de R\$ 5956,68 / ano.

Contudo, fazendo a divisão do valor total da implantação do sistema de R\$ 107.859,09 pela probabilidade de economia (PE) de R\$ 5956,68 por ano, teremos que em 18 anos o usuário poderá amortizar o investimento da implantação e mais o custo de O&M por trinta anos.

Como os painéis fotovoltaicos possuem uma vida útil de 30 anos [69], o resultado da avaliação mostra que o sistema é economicamente viável, para instalação em residências com consumo médio de 200 KWh/mês e venda de 200 KWh/mês.

5 CONCLUSÃO

Nesse trabalho concluiu-se que o sistema fotovoltaico proposto ainda é inviável para atender uma residência com consumo de 200 KWh/mês.

Devido ao alto custo para implantação do sistema, foi montado um protótipo com potência menor para realizar testes comprovando o seu funcionamento, assim como o seu desempenho em relação ao que foi definido em suas especificações.

Com os testes realizados, obteve-se resultados que comprovaram as especificações do sistema, incluindo o desempenho do controlador projetado, que mostrou ser efetivo para gerenciamento do consumo de energia elétrica do sistema fotovoltaico integrado, contemplando uma rede inteligente.

Para viabilizar esse sistema no Brasil, é importante que o governo adote políticas ou medidas de incentivo, como as resoluções aprovadas pela ANEEL, bem como, eliminando os tributos, aumento de tarifas e fortalecendo a política de investimento em pesquisas e processos que permitam a expansão desses sistemas no país.

Demonstrou-se que, se não houvesse tributação nos equipamentos do sistema e se a venda de energia já fosse permitida, sendo dimensionado um sistema para um consumo médio de 200 KWh/mês e venda de 200 KWh/mês, ele seria economicamente viável e possibilitaria o avanço no Brasil do desenvolvimento sustentável.

Para trabalhos futuros, é recomendado o desenvolvimento do sistema fotovoltaico utilizando-se dos medidores inteligente, que as concessionárias irão disponibilizar para o usuário comum. Assim, ele poderá ter acesso a dados que o possibilite calcular a economia obtida sem e com a adesão à modalidade tarifária branca.

6 REFERÊNCIAS

Adams, W.G. and Day, R.E., **The action of light on selenium**, **Proceedings of the Royal Society**, A25 (1877) 11

Ajax **Bateria Ajax 45Ah-12V..** Disponível em<[http://www.ajax.com.br/ajax /pt/index.php?GTR_VARS_acesso=modulos/conteudo/detTexto.php>R_VARS_codtexto=13&](http://www.ajax.com.br/ajax/pt/index.php?GTR_VARS_acesso=modulos/conteudo/detTexto.php>R_VARS_codtexto=13&)> Acesso em: 29 julho 2013.

Alves, A.F. **Desenvolvimento de um sistema de posicionamento automático para painéis fotovoltaicos.** 2008, 140. f Dissertação de Doutorado, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Campus de Botucatu, Universidade Estadual Paulista 2008.

ANEEL. **Energia Solar.** Disponível em:< [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf) >. Acesso em: 9 fevereiro 2013

ANEEL. **Tarifa branca ao consumidor de baixa tensão valerá com novo medidor.** Disponível em:< http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=4921&id_area=90 >. Acesso em: 9 fevereiro 2013

Araújo, L. A. **Projeto de um seguidor para coberturas, destinado a painéis solares.** 2012, f Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, 2012.

Araújo, J. S. / Departamento de Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. **Células solares de filme finos nanoestruturados e semicondutores contendo os óxidos de CÉLULAS TiO₂ e Nb₂O₅ sensibilizadas por corantes orgânicos.** Disponível em < http://www.puc-rio.br/pibic/relatorio_resumo2012/relatorios_pdf/ctc/ELE/ELEJessica%20Sanches%20de%20Araujo.pdf > Acesso em: 24 julho 2013.

Becquerel, E., **Memoires sur les effets electriques produits sous l'influence des rayons**, **Comptes Rendues** 9 (1839) 561

Blasques, W. N, Macedo. L.C, **Curso Teórico/Prático de Especialização a Nível Técnico sobre Sistemas Fotovoltaicos**, Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas, 2008.

Blue Sol. **Energia Solar: Como Funciona? – O Efeito Fotovoltaico.** Disponível em< <http://www.blue-sol.com/energia-solar/energia-solar-como-funciona-o-efeito-fotovoltaico/>> Acesso em: 19 julho 2013.

Blue Sol. **Energia Solar.** Disponível em< <http://www.blue-sol.com/energia-solar/> > Acesso em: 19 julho 2013.

BlueSol. **Sistemas Conectados à Rede.** Disponível em< <http://www.blue-sol.com/index.php/curso-online> > Acesso em: 19 julho 2013

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Estudo e propostas de utilização de geração fotovoltaica conectada à rede, em particular em edificações urbanas.** Brasília, 2009.

Brum, T.S. **Projeto de uso de Energia Fotovoltaica como fonte emergencial. 2013**, 62. f Trabalho de Conclusão de Curso, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro 2013.

Camargo, J.C.; Silva, E.P.; Apolinário, F.R./ Departamento de Energia, Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP. **Potencial fotovoltaico no uso rural para o estado de São Paulo**. Disponível em < http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC000000022000000100045&script=sci_arttext> Acesso em: 24 julho 2013.

CEMIG. **Requisitos para a conexão de Acessantes ao Sistema de Distribuição. – Conexão em Baixa Tensão**, Diretoria de Distribuição e Comercialização, 2012.

Chapin, D. M., Fuller, C. S. and Pearson, G. L., **Solar Energy Converting Apparatus**, United States patent US2780765. 1954 Aug 1

Cresesb. **Módulos Fotovoltaicos**. Disponível em:< <http://www.cresesb.cepel.br/content.php?cid=331> >. Acesso em: 16 fevereiro 2012

Faricelli, C.F. / Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, **Seguidor solar para sistemas fotovoltaicos**. Disponível em< http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2008/Artigos/Art_TCC_040_2008.pdf > Acesso em: 24 julho 2013.

Distribuzione Solare. **EurSolar gel 12V battery - 100 Ah**. Distribuzione solare Disponível em: < <http://www.distribuzioneolare.com/web/en/product/1319/EurSolar-gel-front-terminal-12V-battery-100-Ah-Code-EBAT50580.html> > Acesso em: 30 julho 2013.

Distribuzione Solare. **Painel Fotovoltaico de 250W** Distribuzione solare Disponível em: < <http://www.distribuzioneolare.com/web/en/product/1228/FVG60-156R-FVG250P-MC-250W-Polycristalline-module-min.-12-pc-Code-EMFP50240R-12.html> > Acesso em: 30 julho 2013.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Análise da inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira. Rio de Janeiro: EPE, 2012**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/geracao/Documents/Estudos_23/NT_EnergiaSolar_2012.pdf>.

Gazoli, J.R; Villalva. M. G; Guerra. J. **Energia solar fotovoltaica Sistemas conectados à rede elétrica: requisitos para a conexão e proteções. Energias renováveis alternativas. 2012**. Disponível em <www.osetoreletrico.com.br> .Acesso em: 29 julho 2013.

GTES **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, PRC-PRODEEM, 2004.

Guzzo, R.C. **Projeto básico de um sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica. 2008**, 64. f Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, 2008.

Edpescelsa **Qual é o consumo médio de uma residência**. Disponível em:< <http://www.edpescelsa.com.br/aescelsa/tire-duvidas-sobre-ee.asp> >. Acesso em: 9 fevereiro 2013

Fairchild, BC337 Manual. Switching and Amplifier Applications. Disponível em <<http://www.fairchildsemi.com/ds/BC/BC337.pdf>> Acessado em: 5Julho de 2013.

Imhoff, J. **Desenvolvimento de conversores estáticos para sistemas fotovoltaicos autônomos. 2007**, 146. f Dissertação de Mestrado, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, 2007.

Jannuzzi, G. G.; Gomes, R. D. M.; Varella, F. K. O. M. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica no Brasil: panorama da atual legislação.** Campinas: International Energy Initiative, 2009.

Júnior, O.L. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede: Estudo de caso - 3 kWp instalados no estacionamento do IEE-USP, 2004**,77. f Dissertação Mestrado, Programas Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

Leva, F. F.; Salerno, C.H.; Camacho, J. R.; Guimarães, S. C. **Modelo de um projeto de um sistema fotovoltaico.** Disponível em <<http://www.feagri.unicamp.br/energia/agre2004/Fscommand/PDF/Agrener/Trabalho%2042.pdf>> Acesso em: 23 julho 2013

Ly, M. **Desenvolvimento e análise de filme anti-reflexo de sulfeto de zinco para células solares. 2007**, 62. f Dissertação de Mestrado, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul 2007.

Macedo, Wilson Negrão. **Estudo de Sistemas de Geração de Eletricidade Utilizando as Energias Solar Fotovoltaica e Eólica, 2002**, 151 f. Dissertação de Mestrado, Centro Tecnológica, Universidade Federal do Pará, 2002.

Mandelkorn, J. and Lamneck, J. H., **Simplified fabrication of back surface electric filed silicon cell and novel characteristics of such cells.** Proceedings 9th IEEE PSC, Silver Spring (1972) 66.

Martins, A.P.M.; Rodrigues, R.J.S./ Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. **Efeito fotovoltaico** Disponível em:<http://paginas.fe.up.pt/~ee97234/efeito_fotovoltaico1.htm>. Acesso em: 9 fevereiro 2013.

Mercadolivre. **Inversor grid tie - senoidal pura 300W/12Vcc/110Vac-220Vac.** Disponível em< http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-499430679-inversor-grid-tie-senoidal-pura-300w-12v-110220vac-bivolt-_JM> Acesso em: 29 julho 2013.

Mercadolivre. **Inversor de Energia Modificada 1000W..** Disponível em<http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-500647599-inversor-1000w-conversor-entrada-24v-saida-110v-promoco--_JM> Acesso em: 29 julho 2013.

Mercadolivre. **Inversor de Energia Senoidal de 500W..** Disponível em<http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-502935704-inversor-500w-24vdc-110vac-60hz-senoidal-pura-_JM> Acesso em: 29 julho 2013.

Mercadolivre. **Inversor de Energia Senoidal de 500W.** Disponível em <http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-502937118-inversor-500w-24vdc-220vac-60hz-senoidal-pura-_JM> Acesso em: 29 julho 2013.

Mercado Livre. **Inversor Grid Tie 5000w.** Disponível em <http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-497915272-oferta-inversor-grid-tie-5000wae-rogerador-solar-_JM> Acesso em: 29 julho 2013.

Minhacasasolar. **Controlador de carga e descarga.** Disponível em <<http://www.inventhar.com.br/casasolar/saiba-controlador.php>> Acesso em: 29 julho 2013.

Microchip. **Datasheet Microchip Technology-PIC16F877A.** Disponível em <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39582b.pdf>> Acessado em: 5Julho de 2013.

Neosolar. **Inversores ou conversores.** Disponível em:< <http://www.neosolar.com.br/aprenda> >. Acesso em: 19 julho 2013.

Neosolar. **Painel solar fotovoltaico Yingli 20Wp** Disponível em<<http://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-yingli-yl020p-17b-1-6-20wp.html>>Acesso em: 29 julho 2013.

Neosolar. **Inversor Unitron iVolt - 400W / 12Vcc / 115Vac / 60Hz.** Disponível em<<http://www.neosolar.com.br/loja/inversor-unitron-ivolt-400w-12vcc-115vac-60hz.html>>Acesso em: 29 julho 2013.

Neosolar. **Bateria Estacionária 220Ah-240Ah.** Disponível em<<http://www.neosolar.com.br/loja/bateria-estacionaria-freedom-df4001-240ah220ah.html>> Acesso em: 29 julho 2013.

Neosolar. **Sistemas de energia solar fotovoltaica e seus componentes.** Disponível em:<<http://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-eseuscomponentes>>. Acesso em: 9 fevereiro 2013

Neosolar. **Painel Fotovoltaico de 240Wp.** Disponível em<<http://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-yingli-yl240p-29b-240wp.html>>Acesso em: 29 julho 2013.

Neosolar. **Controlador de Carga MPPT Epsolar Tracer-4210RN 40A 12/24V .**

Neosolar. Disponível em:< <http://www.neosolar.com.br/loja/controlador-de-carga-mppt-epsolar-tracer-4210rn-40a-12-24v.html> >. Acesso em: 08 maio 2013.

Neto, A.F.C.P.; Almeida, M.P. **Desenvolvimento de controladores de carga para sistemas fotovoltaicos autônomos.** 2009, 98. f Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto de Tecnologia Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará 2009.

Oliveira, L.G.M. **Estratégia de controle de carga e descarga em sistemas fotovoltaicos domiciliares.** 2005, 104. f Dissertação de Mestrado, Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, 2005.

Oliveira, S.H.F. **Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos Autônomos: Ênfase na eletrificação de residências de baixo consumo.**1997, 215. f Dissertação de Mestrado, Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, 1997.

Pearson, G. L., **Conversion of solar to electric energy**, American Journal of Physics, 25 (1957) 591.

Pereira, A.C. **Geração de energia para condomínio utilizando sistema fotovoltaico autônomo – Estudo de caso em edifício residencial com seis pavimentos.** 2012, 44. f Trabalho de Conclusão de Especialização, Departamento de Engenharia dos Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

Protec. **CI4030. Manual.** Disponível em < <http://www.projetostecnologicos.com/Componentes/CIsDigitais/CMOS/4030/4030.html> > Acessado em: 5Julho de 2013.

Rosa, C.A; Filho, G.L.T. **Série Energia Renováveis Solar.** Itajubá: Cerpch, 2007

Rumosustentável **EcoD Básico: Smart Grids (redes inteligentes).** . Disponível em < <http://www.rumosustentavel.com.br/ecod-basico-smart-grids-redes-inteligentes/>> Acesso em: 19 julho 2013.

Serrão, M.A.S. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico para uma casa de veraneio em Pouso da Cajaíba- Paraty.** 2010, 82 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento da Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

Schultz, O., Glunz, S. W. and Wileke G. P., **Multicrystalline Silicon Solar Cells Exceeding 20% Efficiency, Progress in Photovoltaics: Research and Applications** 12 (2004) 553

Silva, F.M.; Camelo, M.; Mendez, O.R.S. / Universidade Federal do Maranhão. **Controlador-inversor fotovoltaico de baixo custo para iluminação pública.** Disponível em<http://www.pppg.ufma.br/cadernosdepesquisa/uploads/files/2009_1_07.pdf> Acesso em: 25 julho 2013.

Silva, K.J.O.; Silva, Z.E. **Energia elétrica alternativa que vem do sol .** Disponível em < http://www.les.ufpb.br/portal/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=174&Itemid=30> Acesso em: 29 julho 2013.

Solarterra. **Energia Solar Fotovoltaica Guia Prático.** Disponível em:< <http://permaoletivo.files.wordpress.com/2008/05/curso-energia-solar-fotovoltaica.pdf>> . Acesso em: 5 fevereiro 2012.

Taute, I. R. S. **Procedimentos de Qualificação e Aceitação de Componentes de Sistemas Fotovoltaicos Domiciliares,** 2004,152. f Dissertação Mestrado, Programas

Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

Texas Instruments. **LM7805 Manual. LM340-N/LM78XX Series 3-Terminal Positive Regulators**. Dallas: Texas Instruments Incorporated, 2013, pp.28.

Unipower, **Manual técnico da Bateria Chumbo - Acida Selada**. Disponível em <<http://www.robocore.net/upload/ManualTecnicoBateriaUnipower.pdf>> Acesso em: 29 julho 2013.

Viaud, M., Hoffman, W. and Aulich H., **European PV Industry roadmap**, Proceedings 19th EPVSEC (2004)

Weschenfelder, Franciele / Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Bateria de Edison: Produção de eletrodos por metalurgia do pó**. Disponível em <<http://www.ufrgs.br/ldtm/3%C2%AA%20RenoMat%20-%20Trabalhos%20inscritos%2004062013.pdf>> Acesso em: 24 julho 2013. 2013.

Wikipédia. **Sistema Solar**. Disponível em:< http://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema_Solar>. Acesso em: 9 fevereiro 2013.

Apêndice A - Controlador On/Off em Assembly

```
include      <P16F877A.inc>

; CONFIGURAÇÃO DOS FUSÍVEIS INTERNOS
__CONFIG H'3F39'

; code protect - desabilitado
; watchdog timer - desabilitado
; brown out detect - desabilitado
; power up timer - desabilitado
; low voltage program - desabilitado
; oscilador - modo xt (cristal em 4MHz)
; MACROS

Banco0 MACRO
    bcf      STATUS,RP0
    bcf      STATUS,RP1
    bcf      STATUS,IRP
    ENDM

Banco1 MACRO
    bsf      STATUS,RP0
    bcf      STATUS,RP1
    bcf      STATUS,IRP
    ENDM

Banco2 MACRO
    bcf      STATUS,RP0
    bsf      STATUS,RP1
    bsf      STATUS,IRP
    ENDM

Banco3 MACRO
    bsf      STATUS,RP0
    bsf      STATUS,RP1
```

```
bsf      STATUS,IRP
ENDM
```

DEFINIÇÕES

```
#DEFINE  RELE_BATERIA  PORTD,0;
#DEFINE  RELE_INVERSOR PORTD,1;
```

DECLARAÇÕES DE CONSTANTES

utilizando apenas os 8 bits mais significativos do A/D

```
TC      EQU  .242  ; equivale a 4,75V -> 14,4V
TR      EQU  .234  ; equivale a 4,6V  -> 13,8V
TRC     EQU  .224  ; equivale a 4,4V  -> 13,2V
TDC     EQU  .200  ; equivale a 3,93V -> 11,8V
```

; DECLARAÇÕES DE VARIÁVEIS

```
CBLOCK  0x20
PCLATH_INT_BACKUP
W_INT_BACKUP
STATUS_INT_BACKUP
TEMP
FLAG
ENDC
ORG 0x000          ; processor reset vector
goto Inicio
```

; CONFIGURAÇÕES DE PORTAS E PERIFERICOS

Inicio:

```
clrf  PORTA      ;limpa portas
clrf  PORTB
clrf  PORTC
clrf  PORTD
clrf  PORTE
```

```

Banco1
movlw    0xFF      ; PORTA - conf. todas como entrada
movwf    TRISA
movlw    0xFC      ; PORTB - conf. todas como entrada
movwf    TRISB
movlw    0xFF      ; PORTC - conf. todas como entrada
movwf    TRISC
movlw    0xFC      ; PORTD - RD0 e RD1 como saída e restante como
entrada
movwf    TRISD
movlw    0x0F      ; PORTA - conf. todas como entrada
movwf    TRISE

movlw    0X0E      ; RA0 A/D, restante digital, justificado a esquerda
movwf    ADCON1

```

```

Banco0
movlw 0X41          ; fosc/8, canal 0
movwf ADCON0
bcf   INTCON,GIE ;desabilita interrupções
bcf   INTCON,PEIE

; Rotina principal
bcf   RELE_BATERIA ;desliga carga da bateria
bcf   RELE_INVERSOR ;desliga acionamento do inversor
clrf  TEMP
clrf  FLAG
LE_BATERIA:
movfw PORTD
movwf PORTB
decfsz TEMP          ;espera 256us para uma nova leitura
goto  $-1
bsf   ADCON0,GO      ;inicia leitura de AD
decfsz TEMP          ;espera 256us
goto  $-1

```



```

    btfsc  ADCON0,GO      ;aguarda fim de leitura AD
    goto   $-1
    nop
    movfw  ADRESH        ; Move leitura de 8bits mais significativos para
acumulador
    sublw  TDC           ; (TDC - Leitura da bateria)
    btfsc  STATUS,C      ; verifica Bateria é maior que TDC
    goto   CONDICA01     ; vai para CONDICA01 se Bateria estiver menor
que TDC
    movfw  ADRESH        ; Move leitura de 8bits mais significativos para
acumulador
    sublw  TRC           ; (TRC - Leitura da bateria)
    btfsc  STATUS,C      ; verifica Bateria é maior que TRC
    goto   CONDICA02     ; vai para CONDICA02 se Bateria estiver menor
que TRC
    movfw  ADRESH        ; Move leitura de 8bits mais significativos para
acumulador
    sublw  TR            ; (TR - Leitura da bateria)
    btfsc  STATUS,C      ; verifica Bateria é maior que TR
    goto   CONDICA03     ; vai para CONDICA02 se Bateria estiver menor
que TR
    movfw  ADRESH        ; Move leitura de 8bits mais significativos para
acumulador
    sublw  TC            ; (TC - Leitura da bateria)
    btfsc  STATUS,C      ; verifica Bateria é maior que TC
    goto   CONDICA04     ; vai para CONDICA03 se Bateria estiver menor
que TR
    goto   CONDICA05     ; vai para CONDICA03 se Bateria estiver menor
que TR
CONDICA01:
    ;Bateria < 11,8V
    bsf    RELE_BATERIA  ;liga carga da bateria
    bcf    RELE_INVERSOR ;desliga acionamento do inversor
    bsf    FLAG,0

```

```

goto LE_BATERIA
CONDICAO2:
;13,2V > Bateria > 11,8V
bsf      RELE_BATERIA    ;liga carga da bateria
btfsc   FLAG,0
bcf      RELE_INVERSOR  ;desliga acionamento do inversor
btfss   FLAG,0
bsf      RELE_INVERSOR  ;liga acionamento do inversor
goto    LE_BATERIA
CONDICAO3:
;13,8V > Bateria > 13,2V
bsf      RELE_BATERIA    ;desliga carga da bateria
bsf      RELE_INVERSOR  ;liga acionamento do inversor
bcf      FLAG,0
bcf      FLAG,1
goto    LE_BATERIA
CONDICAO4:
;14,4V > Bateria > 13,8V
bsf      RELE_INVERSOR  ;liga acionamento do inversor
btfsc   FLAG,1
bcf      RELE_BATERIA    ;desliga carga da bateria
btfss   FLAG,1
bsf      RELE_BATERIA    ;liga carga da bateria
goto    LE_BATERIA
CONDICAO5:
;Bateria > 14,4V
bcf      RELE_BATERIA    ;desliga carga da bateria
bsf      RELE_INVERSOR  ;liga acionamento do inversor
bsf      FLAG,1
goto    LE_BATERIA
end

```