

MODELO DE UM PROJETO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

FLÁVIA FERNANDES DE LEVA
CARLOS HENRIQUE SALERNO
JOSÉ ROBERTO CAMACHO
SEBASTIÃO CAMARGO GUIMARÃES

Núcleo de Eletricidade Rural e Fontes Alternativas de Energia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia

Resumo— Em todo o mundo ocorre um aumento no interesse pelos sistemas fotovoltaicos, motivado principalmente pela redução dos custos das células solares e pelos crescentes problemas ambientais causados pelas formas tradicionais da geração de energia. O uso de sistemas fotovoltaicos no Brasil tem aos poucos ganhado espaço, principalmente em regiões onde o acesso a energia elétrica convencional é ainda economicamente inviável, porém, nada impede que seja aplicado nos locais com presença da energia elétrica.. Evitar excessos é um fator de grande importância a ser considerado no dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos isto é, o uso dos equipamentos elétricos ou eletrônicos devem ser bem projetados, bem como, apresentar baixo consumo de energia. Assim, este artigo tem por objetivo apresentar as principais análises e cálculos que devem ser efetuados para um dimensionamento mais preciso do projeto fotovoltaico.

Abstract— All over the world it has happened an increase in interest for photovoltaic systems, mainly motivated by cost reduction of solar cells and by the growing environmental problems caused by traditional forms of generating energy. The use of photovoltaic systems has slowly gained space, mainly in areas where the access to the conventional electrical energy is still economically unviable, however, it can be used also where conventional energy is extensively used, in order to make electricity bills less expensive. Avoiding excesses is an important factor to be considered in the photovoltaic systems dimensioning, the use of electrical and should present a low energy consumption. Therefore, the last of this paper is to show the main calculation and analysis that should be make in order to get a more precise dimensioning of the photovoltaic system.

1- Introdução

Atualmente, a principal característica do sistema elétrico brasileiro de potência é a utilização de grandes usinas, centralizando a geração de energia elétrica, com o transporte desta através de extensas redes de transmissão e distribuição. À medida que a demanda cresce, as concessionárias precisam ampliar o parque gerador e, adicionalmente, construir novas linhas de transmissão e distribuição. Porém, a adoção deste tipo de sistema como uma alternativa para atender o aumento de demanda resulta em alguns problemas, como o acréscimo das perdas nestas redes devido às longas distâncias entre os locais de geração e consumo. Neste sentido, tem surgido recentemente uma nova opção, denominada Geração Distribuída, na qual os geradores são situados próximos dos consumidores, oferecendo para as concessionárias um meio de aumentar a disponibilidade de energia localmente, eliminando o inconveniente do transporte desta para os centros consumidores. Além disso, esta nova alternativa de geração oferece algumas vantagens, como suporte de tensão através do fornecimento de energia reativa local, melhoria da qualidade de suprimento, redução das perdas, melhoria do fator de potência, liberação da capacidade e possibilidade de ilhamento para atendimento de carga local, melhoria na curva de carga, redução nos custos de expansão da rede e a prorrogação de novos investimentos para a construção de grandes usinas.

Outra vantagem importante é a produção de pequenos blocos de energia através de fontes renováveis, tais como pequenas centrais hidrelétricas (PCH's), geradores eólicos, células combustíveis, células fotovoltaicas, etc.

O aproveitamento deste tipo de energia, obtida através da transformação direta de recursos naturais como a força do vento, a energia hidráulica, a biomassa e a energia solar, tem sido uma importante opção na atual conjuntura mundial. No Brasil, este tipo de geração não é ainda muito utilizado devido em parte ao custo elevado [COCIAN LUÍS F., 2001]. Porém, com a crescente demanda global por energia e a importância do impacto das políticas energéticas sobre a sociedade e o meio ambiente, cria-se a necessidade de se optar por fontes de energia que possam abastecer a demanda de forma eficiente e sem agredir o meio ambiente, formando assim a base para um desenvolvimento sustentável. Assim, conversão solar fotovoltaica é cada dia mais cotada como meio de substituição aos métodos convencionais de geração de eletricidade, pois na época atual, em que problemas ambientais se agravam e as matérias primas se esgotam, torna-se insustentável a exploração continuada dos combustíveis fósseis.

1.1 - Vantagens e desvantagens de um sistema fotovoltaico

1.1.1 - Vantagens

- Gera energia mesmo em dias nublados;
- Gera energia de 12 volts (corrente contínua);
- Sistema Modular levíssimo; simples instalação, com fácil manuseio e transporte, podendo ser ampliado conforme sua necessidade;
- Grande vida útil, acima de 25 anos;
- Compatível com qualquer bateria; funcionamento silencioso;
- Manutenção quase inexistente;
- Não possui partes móveis que possam se desgastar;
- Não produzem contaminação ambiental.

1.1.2 - Desvantagens

- As células fotovoltaicas necessitam de tecnologia sofisticada para sua fabricação;
- Possuem custo de investimento elevado;
- O rendimento real de conversão de um modulo é reduzido (o limite teórico máximo numa célula de silício cristalino é cerca de 28%), face ao custo do investimento;
- Necessita de um armazenador de energia;
- Seu rendimento é dependente do índice de radiação, temperatura, quantidade de nuvens, dentre outros.

1.2 - Principais aplicações

- Eletrificação de residências;
- Telecomunicações;
- Suprimento de água potável e irrigação;
- Subestações energéticas;
- Refrigeração medicinal;
- Iluminação pública;
- Sinalização / bóias marítimas;
- Proteção catódica contra corrosão em tubulações;
- Cercas elétricas

2 - Configurações básicas de sistemas fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em três categorias principais, isolados, híbridos e conectados as redes. A aplicação de cada uma delas depende da disponibilidade dos recursos de energia nos locais onde os sistemas serão utilizados. Neste trabalho será tratado apenas dos sistemas fotovoltaicos isolados.

2.1 - Sistemas isolados

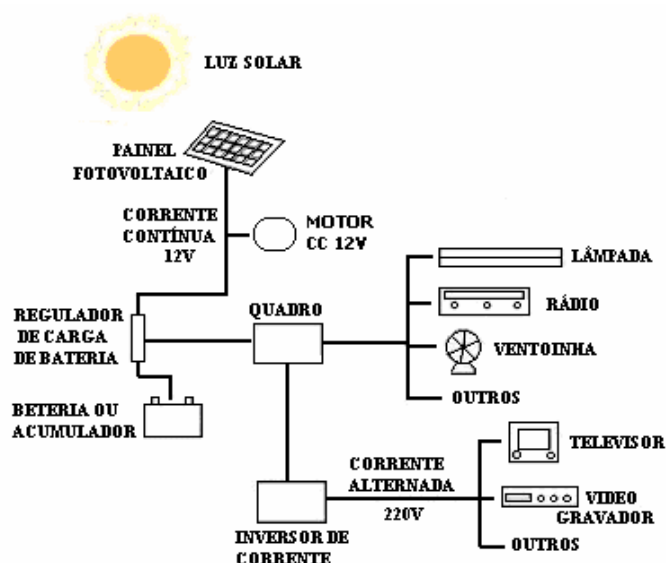


Figura 1 – Componentes do sistema fotovoltaico

2.1.1 - Sistema CC isolado sem armazenamento de energia

Neste sistema, a carga CC encontra-se acoplada diretamente ao painel solar, logo, toda a energia elétrica produzida pelo painel é instantaneamente consumida. Um exemplo de uso para esta configuração é o acionamento de bombas d'água.

2.1.2 - Sistema CC isolado com armazenamento de energia

Num sistema com armazenamento de energia, é possível utilizar equipamentos elétricos CC independente de haver ou não geração de energia fotovoltaica no período de operação. Exemplos de aplicação, iluminação, TV, rádio, telefone, etc. Neste caso o uso de controladores de carga é comum visto que, devido as recentes tecnologias das baterias, tem-se exigido um melhor controle do processo de carga e descarga com objetivo de proporcionar um aumento de sua vida útil.

2.1.3 - Sistema CA isolado com armazenamento de energia

Esta configuração de sistema é semelhante ao sistema CC isolado com armazenamento de energia, porém, o diferencial é que a carga é alimentada em energia CA devendo, portanto, ser utilizado um inversor entre o painel e a carga. O inversor utilizado na geração da energia CA pode incorporar o controlador de carga com dispositivo eletrônico seguidor de máxima potência.

2.1.4 - Sistema CA isolado sem armazenamento de energia

Esta configuração de sistema é semelhante ao sistema CC isolado sem armazenamento de energia, porém, o diferencial é que a carga é alimentada em energia CA devendo, portanto, ser utilizado um inversor entre o painel e a carga. O acionamento de bomba d'água equipada com motor CA convencional é uma das aplicações.

2.2 - Equipamentos para um sistema fotovoltaico

No dimensionamento de um sistema autônomo de energia são analisados os geradores que são os fornecedores do insumo energético, os condutores que transmitem a energia (fios e cabos), os controladores de carga que regulam a voltagem do gerador e o estado de carga das baterias, os acumuladores (baterias) que armazenam a energia gerada para o aproveitamento futuro e os inversores que transformam a corrente contínua gerada em corrente alternada própria a utilização na maioria dos equipamentos eletrodomésticos.

2.2.1 - Gerador fotovoltaico

Os módulos fotovoltaicos são formados de células feitas principalmente de silício, um elemento capaz de absorver as partículas de fótons existentes nos raios solares e transformá-las em corrente elétrica contínua.

Uma célula individual, produz apenas uma reduzida potência elétrica, o que tipicamente varia entre 1 e 3 W, com uma tensão menor que 1 Volt. Para disponibilizar potências mais elevadas, as células são integradas, formando um módulo (ou painel). Ligações em série de várias células aumentam a tensão disponibilizada, enquanto que ligações em paralelo permitem aumentar a corrente elétrica. O mesmo ocorre para os painéis.

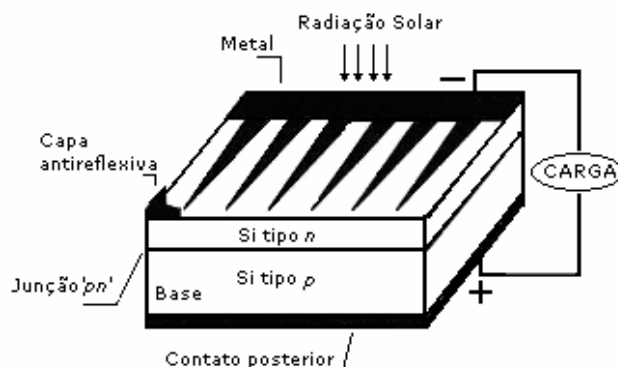


Figura 2 – Estrutura de uma célula de silício convencional

Os módulos fotovoltaicos são formados de células feitas principalmente de silício, um elemento capaz de absorver as partículas de fótons existentes nos raios solares e transformá-las em corrente elétrica contínua.

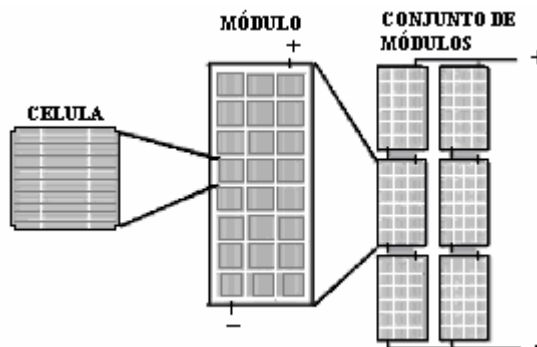


Figura3 – Hierarquia fotovoltaica

Os painéis de módulos fotovoltaicos podem ser instalados de três maneiras principais:

Montagem à superfície - Os módulos são montados num quadro de aço ou de alumínio fixado numa estrutura apropriada feito no telhado já pronto. Trata-se provavelmente da instalação de menor custo.

Montagem em cobertura - Os módulos são fixados diretamente nos caibros da cobertura. Em vez de estarem colocados no telhado, são colocados na sua estrutura: o custo excedente é parcialmente compensado pela economia de materiais de cobertura. Este tipo de instalação tem menos impacto visual do que os painéis à superfície.

Telhas solares - São mais caras do que os módulos clássicos, mas a diferença de preço é compensada pelo fato de não ser necessária a estrutura de montagem. As telhas apresentam um aspecto sóbrio e clássico e são fáceis de colocar. Além dessas principais, temos painéis adesivos que podem ser colados às parede e painéis semi-transparentes, usados em janelas.

2.2.2 - Acumuladores de energia

A função prioritária das baterias num sistema de geração fotovoltaico é acumular a energia que se produz durante as horas de luminosidade a fim de poder ser utilizada à noite ou durante períodos prolongados de mau tempo. Outra importante função das baterias é prover uma intensidade de corrente superior àquela que o dispositivo fotovoltaico pode entregar. É o caso de um motor, que no momento do arranque pode exigir uma corrente de 4 a 6 vezes sua corrente nominal durante uns poucos segundos. Normalmente o banco de baterias de acumuladores e os módulos fotovoltaicos trabalham em conjunto para alimentar as cargas. Durante a noite toda a energia pedida pela carga é fornecida pelo banco de baterias.

Em horas matutinas os módulos começam a gerar, mas se a corrente que fornecerem for menor que aquela que a carga exige, a bateria deverá contribuir. A partir de uma determinada hora da manhã a energia gerada pelos módulos fotovoltaicos supera a energia média procurada, passando então a recarregar as baterias.

Utiliza-se principalmente baterias de 12V./150Ah. Recomenda-se o uso de baterias seladas de ciclos constantes, livres de manutenção. Baterias não devem ser instaladas diretamente sobre o solo ou piso: devem sempre ser assentadas sobre uma base plástica ou de madeira. Observar que o local esteja sempre livre de umidade e impurezas, e seja ventilado. Mantenha a bateria em local abrigado do sol e da chuva. A eficiência do sistema de energia solar depende diretamente da qualidade e do estado das baterias. Baterias velhas aceitam menos carga e ainda desperdiçam a energia de carga fornecida.

A capacidade de armazenagem de energia de uma bateria depende da velocidade de descarga. A capacidade nominal que a caracteriza corresponde de uma maneira geral a um tempo médio de descarga de 10 horas. Quanto maior for o tempo de descarga, maior será a quantidade de energia que a bateria fornece.

2.2.3 - Conversores

É um aparelho eletrônico que converte a energia elétrica DC em AC (corrente alternada) 110 ou 220 Volts, possibilitando a utilização dos eletrodomésticos encontrados no mercado. O controlador de carga otimiza o uso da Energia Fotovoltaica, protegendo a bateria contra sobrecargas e descargas excessivas, não permite a descarga total da bateria desconectando a carga, garantindo mais vida útil à bateria e protegendo o módulo evitando o retorno da energia.

Os tipos básicos de inversores são:

Inversor de onda senoidal - utilizado em sistemas ligados a rede elétrica "utility intertie". A maior parte das residências utiliza corrente alternada de 60Hz e 120 Volts. O inversor senoidal transforma a corrente direta do sistema FV (variando geralmente entre 12Vcd – 360Vcd) em 120 Vca, 60 Hz e sincroniza com a rede elétrica.

O Inversor de onda senoidal modificada - é semelhante ao anterior, porém não produz energia com a mesma qualidade e desta maneira não é aceito pela rede elétrica e seu uso fica restrito para os sistemas independentes e de custo inferior.

2.2.4 - Reguladores de tensão

É um aparelho eletrônico que protege as baterias de sobrecargas e descargas excessivas, prolongando sua vida útil. Existem diversos tipos de reguladores de carga. A concepção mais simples é aquela que envolve uma só etapa de controle. O regulador monitora constantemente a tensão da bateria dos acumuladores e fica definido ao especificar o seu nível de tensão (que coincidirá com o valor de tensão do sistema) e a corrente máxima que deverá manejar. Quando a referida tensão alcança um valor para o qual se considera que a bateria se encontra carregada (aproximadamente 14.1 Volts para uma bateria de chumbo ácido de 12 Volts nominais) o regulador interrompe o processo de carga. Isto pode ser conseguido abrindo o circuito entre os módulos fotovoltaicos e a bateria (controle tipo serie) ou curto-circuitando os módulos fotovoltaicos

(controle tipo shunt). Quando o consumo faz com que a bateria comece a descarregar, portanto, a baixar sua tensão, o regulador reconecta o gerador à bateria e recomeça o ciclo.

No caso de reguladores de carga cuja etapa de controle opera em dois passos, a tensão de carga a fundo da bateria pode ser algo superior a 14,1 Volts. Para ilustrar com um exemplo simples, suponha-se que se tenha de alimentar uma habitação rural com consumo em 12 Vcc. E para isso se utilizem dois módulos fotovoltaicos. A corrente máxima destes módulos é $I_{mp} = 2,75 \text{ A}$ e a corrente de curto-circuito $I_{cc} = 3 \text{ A}$. Quando os módulos estão em paralelo a corrente total máxima que deverá controlar o regulador será $I_{total} = 2 \times 3 \text{ A} = 6 \text{ A}$. Considera-se a corrente de curto-circuito para contemplar a pior situação. O regulador a escolher, portanto, deverá estar concebido para trabalhar a uma tensão de 15 Volts (tensão de trabalho dos módulos) e manejar uma corrente de 6 A.

2.2.4 - Demais equipamentos

Em caso de painéis que não estão fixos no teto ocorre a necessidade de um suporte, que pode ser instalado no teto ou no chão. O uso do suporte é indispensável em casos que o painel é móvel. As caixas de passagens são necessárias para movimentação dos cabos, em solo, são de concreto, com tampa e sem fundo. É aconselhável que se use condutores de cobre, sendo que os rígidos são para utilização na rede e o condutor flexível de preferência tipo cabo flexível são os mais adequados para o sistema fotovoltaico. O condutor rígido não é recomendado para sistemas de corrente contínua, pois, são difíceis de se fazer emendas aos condutores flexíveis das derivações possíveis. Como carga, recomenda-se dispositivos de alto rendimento, como por exemplo, lâmpadas fluorescentes compactas PL que são até 80% mais econômicas e uma vida útil de aproximadamente 8.000hs.

3 - Análise para projeto

A fim de garantir um projeto econômico e funcional o projetista deve ser criterioso durante a avaliação do processo de escolha das varias combinações possíveis para atender da melhor forma as solicitações de carga. Conhecimento dos detalhes de funcionamento dos componentes é extremamente importante para que o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos seja feito de forma correta e cuidadosa, proporcionando um sistema eficiente, durável, sem causar qualquer tipo de risco a seus usuários. Para um bom dimensionamento é importante conhecer o valor da radiação solar existente na localidade de implantação do projeto, assim como a temperatura ambiente, pois a energia gerada é dependente das mesmas.

Um modo bastante conveniente de quantificar a energia solar acumulada no período de um dia é através do número de horas de insolação útil (ou sol pleno conforme algumas bibliografias). Esta grandeza reflete a quantidade de horas em que a energia solar irradiada permanece constante em 1000 W/m^2 (valor de referência considerado na determinação dos parâmetros elétricos dos painéis fotovoltaicos), ou seja, a energia total acumulada em um dia pode ser considerada como valor constante. Seja o exemplo em que a energia acumulada num dia é de 10 kWh/m^2 , a insolação útil vale 10 horas por dia [ERGE T, 2001].

Existem bibliografias que trazem mapas de insolação do Brasil para cada mês do ano, como o Atlas solarimétrico do Brasil [FAE/UFPE, 1997] e o Atlas de Irradiação Solar de Brasil [LABSOLAR, 1998], porém, recomenda-se seu uso somente quando não é possível obter dados mais precisos. Informações sobre insolação podem também ser obtidas por meio do programa SUNDATA [CRESESB].

O desempenho das placas fotovoltaicas é bastante influenciado pela temperatura e pelo índice de radiação solar. Sendo que com a elevação do índice de insolação ocorre um aumento linear da corrente e logarítmico da tensão, os quais influenciaram proporcionalmente no aumento da potência máxima. Para a variação da temperatura, ocorre o contrário da insolação, à medida que se tem uma elevação da temperatura ambiente nota-se um decréscimo da potência máxima, devido a corrente permanecer praticamente constante e a tensão diminuir.

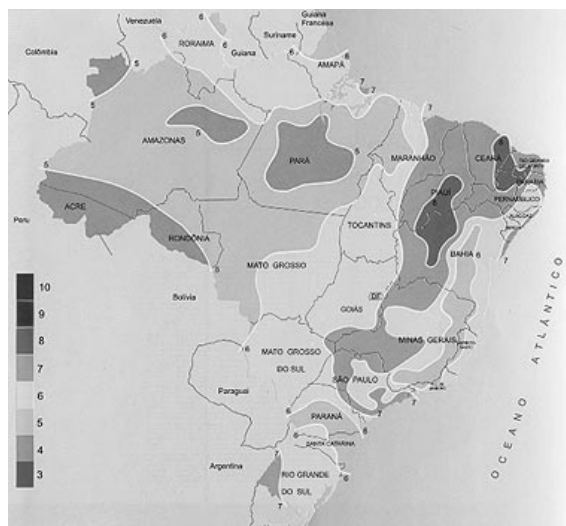


Figura 4- Média anual da insolação diária (em horas) no território brasileiro. Fonte: Atlas solarimétrico do Brasil

Quando o fabricante informa que a placa fornece determinada potência, é baseado em testes para valores fixos de temperatura (25°C) e radiação ($1000\text{W}/\text{m}^2$). Para melhor compreensão faz-se uma análise de uma placa de um determinado fornecedor [SHELL SOLAR] com potência de 50W . Onde variamos o valor da radiação e mantemos a temperatura constante, e posteriormente variamos a temperatura e mantivemos o valor da radiação. Cujos resultados estão nas figuras 5 e 6.

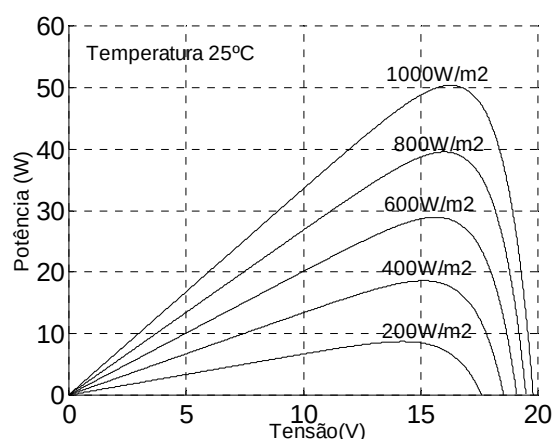


Figura 5 - Variação da potência do módulo com a variação do índice de insolação

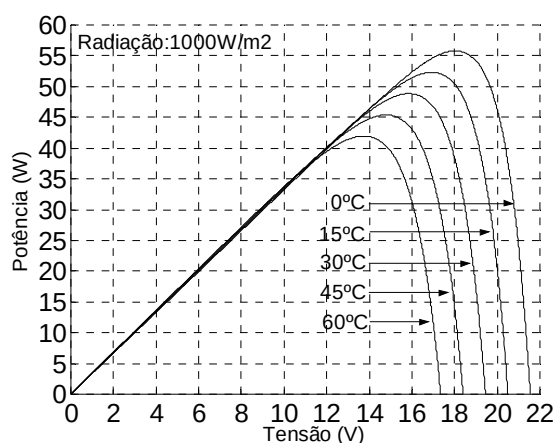


Figura 6 – Variação da potência do módulo com a variação da temperatura

3.1- Dimensionamento

3.1.1 - Cálculo do consumo das cargas

O consumo deve ser calculado com base diária considerando a sazonalidade semanal para cargas CA e CC. Consumo para cargas de corrente-contínua e corrente alternada:

$$Cons1 = PotxH \quad (1)$$

$$Cons2 = \frac{PotxH}{EfCon} \quad (2)$$

$$ConsTotal = (Cons1 + Cons2) \times C1 \quad (3)$$

onde:

Cons1= consumo para cargas de corrente-contínua,
Cons2= consumo para cargas de corrente alternada,
EfCon= eficiência do conversor DC-AC
ConsTotal= consumo total,
C1= coeficiente de segurança para perdas.

A eficiência do conversor gira em torno de 70 a 80% e segundo [BOILY, 1998] para um projeto preliminar de SF utiliza-se coeficiente de segurança de 20%.

3.1.2 - Valor da corrente e do ângulo de inclinação do painel

O ângulo de inclinação de um painel vai variar de acordo com o valor da latitude.

Trabalha-se com o conceito de insolação útil, que considera o número de horas em que o módulo está drenando uma máxima corrente a uma radiação de 1000W/m².

$$PotInst = \frac{ConsTot}{H} \quad (4)$$

onde:

PotInst = Potência instalada,
ConsTot= consumo total,
H = horas de Máxima radiação solar.

3.1.3 - Dimensionamento do banco de baterias

Para um bom dimensionamento é necessário saber a capacidade de armazenamento ou reserva das baterias (kWh) e a amplitude de descarga das mesmas (%). Para isso é necessário que se conheça e analise dados de varias baterias.

$$Bat = \frac{ConsTotxD}{AmpDescxEfCon} \quad (5)$$

onde:

Bat= reserva de baterias,
ConsTot= consumo total,
D= número de dias independentes,
AmpDesc= amplitude de descarga,

EfCon= eficiência do conversor.
Para passar para Ah basta:

$$Bat(Ah) = \frac{Batx100}{Vn} \quad (6)$$

onde:

Bat (Ah)= reserva da bateria em Ah,
Vn= tensão nominal da bateria.

3.1.4 - Determinação dos painéis fotovoltaicos

Para se determinar o número de painéis é necessário verificar se os mesmos serão colocados em série ou em paralelo.

- Em série:

$$Ms = \frac{Vc \arg a}{V_{painel}} \quad (7)$$

onde:

Ms= número de painéis em série,
Vcarga= tensão da carga,
Vpainel= tensão do painel

- Em paralelo:

$$Mp = \frac{Ic \arg a}{Ipainel} \quad (8)$$

onde:

Mp= número de painéis em paralelo,
Icarga= corrente da carga,
Ipainel= corrente do painel.

Assim o número de módulos é dado por:

$$M = Mp + Ms \quad (9)$$

A área que os módulos vão ocupar é calculada multiplicando a área de cada módulo pelo número de módulos.

$$A = A_M \times M \quad (10)$$

5 - Conclusão

Para que o dimensionamento de um sistema fotovoltaico seja mais preciso é necessário não somente avaliar o índice de radiação solar, mas também levar em consideração a temperatura do local, o que ainda não tem sido analisado na maioria dos projetos. O projetista deve ser criterioso na especificação dos equipamentos para garantir um projeto econômico e funcional. O desenvolvimento matemático e critérios de avaliação desenvolvidos irão auxiliar o projetista na verificação da viabilidade de se implantar em um determinado local um sistema fotovoltaico, baseando no índice de radiação e da temperatura local, cujos dados podem ser coletados por aparelhos de medição ou obtidos em mapas de insolação, obtendo-se assim características do desempenho das placas, assim como efetuar cálculos para dimensionar os equipamentos à serem utilizados, baseado no tipo de configuração e da carga solicitada pelo consumidor.

Palavras-chave— **Dimensionamento, Energia Solar, Fotovoltaica, Projeto.**

6 - Referencias bibliográficas

- [1] COCIAN LUÍS F. E., SANTOS JOÃO C. V.; **“Sistemas Fotovoltaicos: Uma alternativa para a geração de energia elétrica”** Revista Lumière, julho de 2000.
- [2] ERGE T., HOFFMANN V. V., KIEFER K.; **“The German Experience With Grid-Connected PV Systems”** *Solar Energy*, vol. 70, nº 6 pp 479-487, 2001.
- [3] FAE / UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO, parceria com o CEPEL, **Atlas solarimétrico do Brasil** - feito com base em medições terrestres, 1997 .
- [4] LABSOLAR, Co-autoria do INPE Patrocínio INMET, **Atlas de Irradiação Solar de Brasil**, (1995/98).
- [5] CRESESB, **Programa SUNDATA**, traz informações sobre insolação, (www.cresesb.cepel.br/sundatn.htm).
- [6] SHELL SOLAR; www.shell.com/solar. **Photovoltaic Solar Module**: Shell SM50-H.
- [7] BOILY, R., SAWADOGO, A., ROSSI, L.A. **Desenho de sistemas fotovoltaicos para comunidades rurais**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 27, 1998. Poços de Caldas – MG, Anais... Poços de Caldas, 1998.