

JOSÉ LUIZ DE PAULA ALVES DA CUNHA

**ELETRIFICAÇÃO DE EDIFICAÇÕES RURAIS
ISOLADAS UTILIZANDO ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Pós Graduação *Lato Sensu* em Fontes Alternativas de Energia, para obtenção do título de especialista em Fontes Alternativas de Energia.

Orientador

Prof. Carlos Alberto Alvarenga

**LAVRAS
MINAS GERAIS- BRASIL
2006**

JOSÉ LUIZ DE PAULA ALVES DA CUNHA

**ELETRIFICAÇÃO DE EDIFICAÇÕES RURAIS
ISOLADAS UTILIZANDO ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Pós Graduação Lato Sensu em Fontes Alternativas de Energia, para obtenção do título de especialista em Fontes Alternativas de Energia.

APROVADA em ____ de _____ de _____

Prof. _____

Prof. _____

Prof. _____

UFLA

Prof. Carlos Alberto Alvarenga

LAVRAS

MINAS GERAIS- BRASIL

Dedico este trabalho aos meus pais, José Luiz e
Maria da Conceição, pelo esforço incondicional
dispensado à minha formação.

AGRADECIMENTOS

- A Deus, por iluminar sempre meus caminhos, tornando possível a conclusão de mais esta etapa;
- Aos meus pais, pela dedicação exclusiva à boa formação, incentivando e motivando o aprendizado contínuo;
- Ao meu orientador Professor Carlos Alberto Alvarenga, por sua dedicada e sábia orientação, possibilitando-me a conclusão desta tarefa.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	03
LISTA DE TABELAS	04
RESUMO	05
1 INTRODUÇÃO	06
1.1 Apresentação	06
1.2 A questão da eletrificação rural	08
1.3 Objetivo	10
2 REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 Energia solar fotovoltaica	11
2.2 Componentes dos sistemas fotovoltaicos	11
2.2.1 Gerador fotovoltaico	12
2.2.2 Acumuladores	14
2.2.3 Controladores de carga	18
2.2.4 Inversores cc / ca	21
2.2.5 Conversores de corrente contínua (cc-cc)	23
2.3 Tipos de sistemas fotovoltaicos	24
2.3.1 Sistemas isolados	24
2.3.2 Sistemas híbridos	26
2.3.3 Sistemas conectados à rede	27
2.3.4 Sistemas de bombeamento d'água	29
2.4 Configurações de sistema fotovoltaico residencial rural	31

2.5	Sustentabilidade	34
2.6	Aspectos econômicos.....	36
2.7	Perspectivas.....	40
2.7.1	Programas de incentivo.....	42
2.7.1.1	PRODEEM.....	43
2.7.1.2	Programa “Luz Para Todos”	44
3	CONCLUSÕES.....	46
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	ÍNDICES PERCENTUAIS DE NÃO ATENDIMENTO RURAL, POR ESTADO, NA FEDERAÇÃO.	09
Figura 02	CORTE DE UM MÓDULO FOTOVOLTAICO.	13
Figura 03	GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE A PROFUNDIDADE MÉDIA DE DESCARGA DURANTE UM CICLO E O NÚMERO DE CICLOS. . .	16
Figura 04	CONFIGURAÇÃO BÁSICA DE UM INVERSOR.	22
Figura 05	CONFIGURAÇÃO BÁSICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO.	25
Figura 06	SISTEMA FOTOVOLTAICO HÍBRIDO PARA CARGAS DE CORRENTE ALTERNADA E CONTÍNUA.	26
Figura 07	SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA.	28
Figura 08	MODALIDADES TECNOLÓGICAS MAIS UTILIZADAS NOS SISTEMAS DE BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICO.	30
Figura 09	EXEMPLOS DE CONFIGURAÇÃO DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICO.	31
Figura 10	PROPRIEDADE RURAL COM SISTEMA FOTOVOLTAICO.	32
Figura 11	RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL DIÁRIA – MÉDIA ANUAL TÍPICA ($Wh/m^2.dia$)	40
Figura 12	EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO MUNDIAL DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 01	CUSTO DOMICILIAR DA ELETRIFICAÇÃO RURAL CONVENCIONAL EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE RESIDÊNCIAS A SEREM ATENDIDAS E DA DISTÂNCIA À REDE ELÉTRICA.....	37
Tabela 02	CUSTOS RELATIVOS AO INVESTIMENTO INICIAL - SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL (EQUIPAMENTOS E MÃO DE OBRA).....	38
Tabela 03	CUSTOS DIRETOS DE FABRICAÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS – US\$/Wp.....	40

RESUMO

Este trabalho apresenta os desafios para a eletrificação de residências rurais isoladas e a opção da utilização da energia solar fotovoltaica como solução. Descreve os principais componentes e os tipos de sistemas mais utilizados nos projetos de energia solar fotovoltaica, ressaltando o sistema residencial rural. São mostradas as ações necessárias para garantir a sustentabilidade de projetos voltados para estas aplicações, bem como análises de viabilidade econômica. As perspectivas são apresentadas, destacando o excelente potencial brasileiro para a utilização desta fonte alternativa de energia, as novas tecnologias e os programas de incentivo existentes.

1 – INTRODUÇÃO

1.1– Apresentação

A crise energética, de repercussão mundial, causada pelo embargo ao fornecimento de petróleo aos Estados Unidos e aos países europeus, imposto em 1973 pelas nações árabes, acelerou o processo de busca de fontes alternativas de energia.

Diante da redução das reservas mundiais de petróleo e da adoção de práticas de preservação do meio ambiente, que promovem a redução do impacto na natureza com a otimização dos recursos disponíveis, a utilização de fontes renováveis, em grande escala, representam, hoje, o grande desafio do setor energético.

Aliada às crises, o sistema energético brasileiro ainda apresenta dificuldades com a falta de recursos econômicos para a ampliação da capacidade de geração e de distribuição.

A maior parte da energia elétrica produzida no Brasil é de origem hidráulica, oferecendo para a sociedade uma energia renovável e, do ponto de vista dos efeitos globais sobre

o clima, uma energia limpa. Mas, a energia elétrica produzida por fonte hidráulica possui uma certa sazonalidade, pois depende do regime hídrico dos rios das principais bacias, onde se situam os maiores aproveitamentos. Aproveitar outras fontes de energia, que sejam complementares a este regime sazonal, é uma alternativa bastante conveniente para o país, pois preserva recursos ambientais e econômicos.

O desenvolvimento e fortalecimento das energias renováveis no país são fundamentais, já que o Brasil possui as melhores condições de produção dessas fontes.

Dentre as mais significativas fontes renováveis do país, a energia solar destaca-se, pois, praticamente inesgotável, pode ser usada para a produção de eletricidade através de painéis solares e células fotovoltaicas. No Brasil, a quantidade de sol abundante durante quase todo o ano estimula o uso deste recurso.

1.2– A questão da eletrificação rural

Prejudicada pelos arranjos de distribuições energéticas convencionais, a eletrificação rural, considerada não rentável economicamente é ainda um desafio essencialmente social.

Segundo FEDRIZZI (1997), o serviço de eletrificação rural é caracterizado pela grande dispersão geográfica da população, baixo consumo, alto investimento por consumidor, elevado custo operacional, resultando num baixo retorno ou até mesmo em prejuízo financeiro para a concessionária.

Existem atualmente cerca de dois milhões de domicílios rurais não atendidos, correspondendo a 80% do total nacional da exclusão elétrica, ou seja, 10 milhões de brasileiros vivem no meio rural sem acesso a esse serviço público (ELETRONORTE, 2006). Cerca de 90% dessas famílias possuem renda inferior a três salários mínimos.

A figura 01 mostra o índice de percentuais de não atendimento de eletrificação rural nos Estados da Federação.

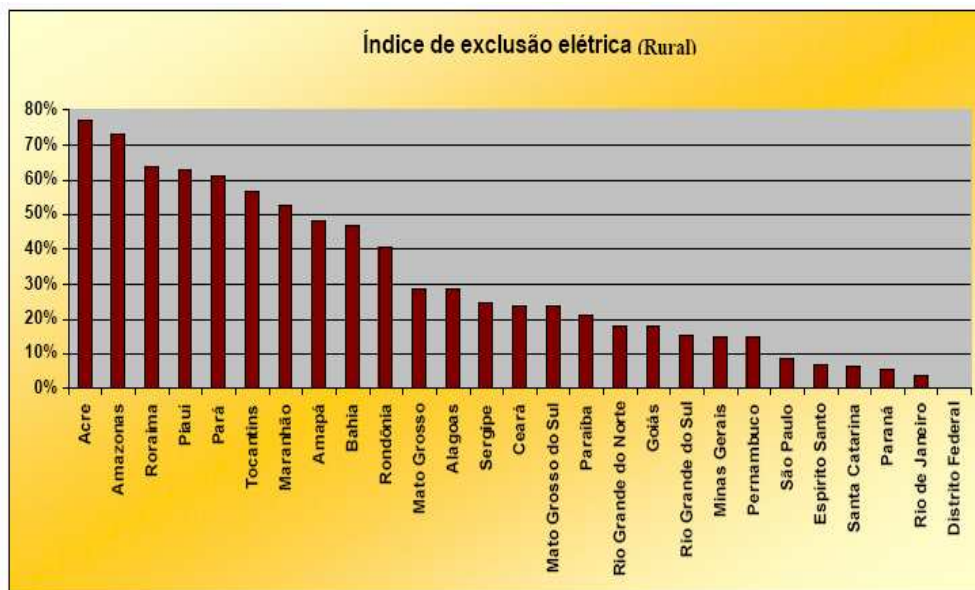


FIGURA 01 – ÍNDICES PERCENTUAIS DE NÃO ATENDIMENTO RURAL, POR ESTADO, NA FEDERAÇÃO
 FONTE: (ELETRONORTE, 2006)

Observa-se que as regiões norte e nordeste possuem índices de exclusão elétrica bem superiores quando comparadas às demais regiões.

Um dos requisitos básicos para o desenvolvimento auto-sustentável e humano de um país é o desenvolvimento de suas regiões rurais, sobretudo a melhoria da qualidade de vida dos habitantes. O subdesenvolvimento dessas regiões tem como uma das causas a falta de energia elétrica, que basicamente pode atender:

- necessidades básicas: domésticas ou comunitárias, incluindo iluminação, lazer, educação, saúde, água potável e comunicação; e
- necessidades produtivas: derivadas de operações agroindustriais, incluindo o bombeamento de água para fins de irrigação, processamento de produtos, entre outras.

A eletrificação em comunidades rurais isoladas é uma questão de cidadania, pois serve de referência de desenvolvimento, dentro de uma sociedade com desigualdades sociais e econômicas.

Uma das opções ao fornecimento de energia elétrica aos usuários rurais é a utilização da energia solar fotovoltaica, tecnologia promissora e economicamente interessante.

1.3– Objetivo

Apresentar a importância, as tecnologias e as perspectivas da utilização da energia solar para eletrificação de edificações rurais isoladas, através de sistemas fotovoltaicos.

2 – REVISÃO DE LITERATURA

2.1 – Energia solar fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (efeito fotovoltaico). O efeito fotovoltaico, relatado por Edmond Becquerel, em 1839, é o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz. A célula fotovoltaica é a unidade fundamental do processo de conversão.

2.2 - Componentes dos sistemas fotovoltaicos

Um dos principais fatores para a bem sucedida utilização de um sistema fotovoltaico é a confiabilidade dos componentes que o integram. Torna-se fundamental uma avaliação técnica criteriosa destes componentes, bem como o conhecimento dos parâmetros que os caracterizam e qualificam, observando ainda suas aplicações e limitações.

2.2.1.– Gerador fotovoltaico

Este equipamento permite converter diretamente em energia elétrica a energia proveniente do sol que incide em sua superfície. É formado por módulos de células fotovoltaicas conectados em série ou em paralelo até alcançar a tensão e potência de pico necessárias para o abastecimento da carga instalada.

Cada módulo fotovoltaico, composto por células de materiais semicondutores, também chamadas de células solares, é o responsável pela conversão da radiação solar em eletricidade, através do fenômeno físico denominado “efeito fotovoltaico”. Este fenômeno, semelhante à fotossíntese, ocorre quando o fóton luminoso transforma-se em uma carga elétrica ao incidir sobre uma lâmina de silício adequadamente tratada, carregando a bateria. As células solares comerciais, geralmente elaboradas a base de silício com alto grau de pureza são encapsuladas de modo a oferecer proteção contra intempéries, permitindo ao mesmo tempo um caminho ótico para a luz. Cada célula é capaz de proporcionar uma tensão de poucos Volts (V), aproximadamente 0,5 V e uma corrente entre

1,5 e 4,5 Ampéres (A), sendo necessária a conexão em série de um determinado número de células para produzir tensões adequadas às aplicações elétricas. A energia produzida pelas células varia com a intensidade da radiação solar e da área iluminada.

A maioria dos módulos (figura 02) possui uma moldura metálica, geralmente de alumínio, que proporciona rigidez mecânica ao conjunto, facilitando ainda sua fixação.

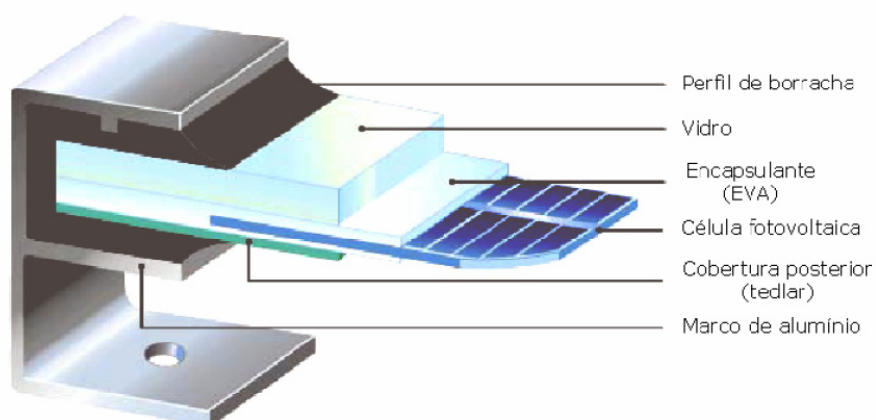


FIGURA 02 – CORTE DE UM MÓDULO FOTOVOLTAICO
FONTE: (PRIEB, 2002)

A eficiência de conversão do processo fotovoltaico está diretamente relacionada com a fração do espectro solar absorvida pelas células, pois apenas os fótons que efetivamente forem absorvidos pelo material semicondutor é que contribuirão para a geração da corrente elétrica.

Ao iluminar uma célula solar, cria-se uma diferença de potencial em seus pólos que pode ser utilizada para produzir algum trabalho.

2.2.2– Acumuladores

Quando, em um sistema fotovoltaico, a energia é requerida em momentos em que não ocorre simultaneamente a geração, torna-se necessária a utilização de acumuladores.

Também chamadas de acumuladores eletroquímicos, as baterias são uma importante forma de armazenamento de energia que pode ser utilizada, pois são capazes de transformar diretamente energia elétrica em energia potencial química e posteriormente converter, diretamente, a energia potencial química em elétrica. Cada bateria é composta por um conjunto de células eletroquímicas ligadas em série obtendo-se a tensão elétrica desejada.

As baterias podem ser classificadas em duas categorias, primária e secundária. As baterias primárias não podem ser recarregadas, ou seja, uma vez esgotados os reagentes que produzem energia elétrica, devem ser descartadas. As

secundárias podem ser recarregadas através da aplicação de uma corrente elétrica em seus terminais. Os sistemas fotovoltaicos utilizam acumuladores secundários, dentre as mais comuns, as chumbo-ácido e as níquel-cádmio.

Bateria chumbo-ácido

Possuem esta denominação, pois sua matéria ativa é o chumbo e seus compostos e ainda, uma solução aquosa de ácido sulfúrico. São formadas por elementos constituídos por duas placas de polaridades opostas, isoladas entre si e banhadas pela solução de ácido sulfúrico. Sua capacidade é medida pela quantidade de carga elétrica, expressa em Ampère - hora (Ah), isto é o produto da corrente em Ampères pelo tempo em horas corrigido para a temperatura de referência.

Um processo de descarga seguido de um processo de carga que restabeleça completamente a capacidade da bateria é denominado “ciclo”. A vida útil de uma bateria pode ser definida pelo número de ciclos que ela pode realizar.

A profundidade de descarga de uma bateria chumbo-ácido é um fator importante para sua escolha. Tal parâmetro

define o percentual em relação a sua capacidade nominal que uma bateria pode fornecer sem que seja comprometida sua vida útil. As de baixa profundidade são empregadas principalmente em automóveis, já para os sistemas fotovoltaicos são indicadas as de alta profundidade de descarga.

Para aumentar a durabilidade destas baterias é preciso carregá-las adequadamente, conforme as recomendações dos fabricantes, antes que sua descarga alcance níveis superiores aos pré-estabelecidos para sua profundidade de descarga (ROSEMBACK, 2004).



FIGURA 03 – GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE A PROFUNDIDADE MÉDIA DE DESCARGA DURANTE UM CICLO E O NÚMERO DE CICLOS
FONTE:(ROSEMBACK, 2004)

A figura 03 indica a relação entre a profundidade média diária de descarga durante um ciclo e o número de ciclos.

Deve-se evitar manter as baterias descarregadas por longos períodos de tempo, carregamentos parciais prolongados e a operação contínua em temperaturas acima de 45 graus Celsius (°C), pois diminuem sua vida útil. Nestas situações ocorre o processo de sulfatação com a formação de cristais de sulfato de chumbo nas placas dos elementos das baterias. Estes cristais formam uma barreira entre o eletrólito e o material ativo das placas.

As baterias chumbo-ácido são as mais utilizadas para armazenamento de energia em sistemas fotovoltaicos devido ao seu baixo custo e sua grande disponibilidade no mercado.

Bateria níquel-cádmio

Estas baterias, também da categoria secundária, são utilizadas em sistemas de geração de energia elétrica fotovoltaica.

Apresentam estrutura física semelhante à das baterias chumbo-ácido, utilizando hidróxido de níquel para as placas

positivas, óxido de cádmio para as placas negativas e hidróxido de potássio para o eletrólito.

As baterias de níquel-cádmio, quando comparadas com as chumbo-ácido, são menos afetadas por sobrecargas e podem ser totalmente descarregadas, não estando sujeitas a sulfatação e ainda, seu carregamento não sofre influência da temperatura. Porém possuem um custo mais elevado que as chumbo-ácido.

2.2.3– Controladores de carga

Os controladores de carga são componentes indispensáveis para o sistema fotovoltaico, pois permitem o controle do limite de carga que os módulos de baterias podem receber evitando desta forma a sua queima por sobrecarga e conseqüente aumento do ciclo de vida destes módulos.

São especificados pela tensão de trabalho dos módulos e da corrente. Sua capacidade deve superar a corrente total dos painéis a serem conectados. Caso a corrente supere o valor do controlador, deve ser considerada a possibilidade de divisão de instalação.

São compostos por um circuito de controle e outro de comutação. O circuito de controle monitora as grandezas do sistema, como tensão, corrente e temperatura na bateria, processando essas informações e gerando sinais de controle que são utilizados para comandar o circuito de comutação. O circuito de comutação é formado por chaves semicondutoras que controlam a tensão e/ou a corrente de carga ou de descarga das baterias.

As principais funções atribuídas aos controladores de carga das baterias são:

- providenciar o carregamento da bateria
- evitar sobrecarga na bateria
- bloquear corrente reversa entre a bateria e o painel
- prevenir descargas profundas (no caso de baterias chumbo-ácido)

Existem basicamente dois tipos de controladores, os que são conectados em paralelo e os que são conectados em série. Os controladores conectados em paralelo são constituídos de transistores que dissipam a potência gerada em excesso, quando a tensão nos pólos da bateria atingir um determinado valor. A tensão de corte recomendada é de 2,35 V / elemento

quando a temperatura for de 25°C. Neste caso, é conveniente instalar um diodo de bloqueio entre a bateria e o transistor para evitar dissipação da energia das baterias através dos transistores.

Os controladores conectados em série desconectam os painéis das baterias quando a tensão atinge um determinado valor pré-fixado. O interruptor utilizado pode ser um dispositivo eletromecânico, como um relé, ou estático, por exemplo, um transistor.

Para a proteção de sobrecarga, desconecta-se o gerador fotovoltaico da bateria quando a tensão em seus pólos atinge cerca de 2,45 V / elemento, voltando a conectá-la quando a tensão cair para 2,2 V / elemento. Para a proteção de sobredescarga, desconecta-se a carga da bateria quando a tensão em seus pólos atingir um valor determinado pela profundidade de descarga máxima estipulada para o subsistema de acumulação em questão. O controlador de carga volta a conectar a carga na bateria quando a tensão nos pólos desta atingir cerca de 2,1 V / elemento. Estes valores de tensão podem variar segundo o tipo e o regime de trabalho dos acumuladores.

2.2.4–Inversores cc / ca

A tensão produzida pelos painéis fotovoltaicos durante o processo de conversão da energia solar em energia elétrica é do tipo contínua, fato que limita, em muitos casos, o consumo de energia e os usos finais, pois o mercado de equipamentos alimentados com este tipo de tensão é ainda limitado. Nos casos em que se deseja usar aparelhos em corrente alternada (ca), o sistema necessitará de possuir um inversor de corrente contínua em alternada. Os inversores para energia fotovoltaica apresentam a estrutura básica de acordo com a figura 04, onde o conversor cc eleva o nível cc (corrente contínua), que depois será convertida em ca através do chaveamento.

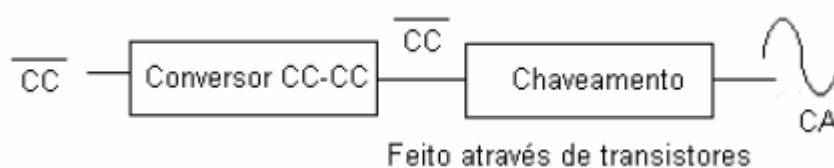


FIGURA 04 – CONFIGURAÇÃO BÁSICA DE UM INVERSOR
FONTE:(FILHO, 2003)

O inversor deverá garantir o fornecimento de energia elétrica com a qualidade necessária para que não se produza

nenhuma degradação dos aparelhos ligados ao sistema ou prejudique o funcionamento.

O dimensionamento do inversor deve ser feito de acordo com a potência nominal, fator de demanda e característica de operação das diversas cargas.

Existem basicamente dois tipos de inversores atualmente no mercado: os que produzem onda senoidal modificada e os que produzem onda senoidal pura. A diferença entre eles é sutil, porém significativa quanto à forma de operar certas cargas. O inversor de onda senoidal modificada pode suprir de forma satisfatória a maioria dos equipamentos e eletrodomésticos de uma residência. Tem um custo menor, porém, pode apresentar problemas com alguns tipos de equipamentos de precisão como impressora a laser, relógios digitais e carregadores de bateria para equipamentos sem fio. O inversor de onda senoidal pura é projetado para fornecer energia de qualidade igual ou superior à fornecida pela concessionária.

2.2.5– Conversores de corrente contínua (CC-CC)

Diversos sistemas fotovoltaicos isolados, visando a redução de custos, dispensam a utilização de inversores. Nestes casos todos os equipamentos eletro-eletrônicos devem ser alimentados somente com tensão contínua. Geralmente nestes sistemas a tensão gerada é de aproximadamente 12V, entretanto, principalmente no meio rural, diversos eletrodomésticos, tais como rádios, pequenos televisores, etc, funcionam com pilhas que utilizam tensões múltiplas de 1,5V.

Os conversores de corrente contínua (cc-cc), conhecidos também como conversores abaixadores executam a função de alimentação elétrica, dispensando a utilização destas pilhas. Estes conversores fornecem, a partir de uma tensão de entrada maior, valores de tensões inferiores.

Os conversores cc-cc abaixadores se apresentam como uma das mais simples e confiáveis topologias, devido, basicamente, ao reduzido número de componentes.

2.3 – Tipos de sistemas fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em quatro categorias distintas: isolados, híbridos, conectados à rede e de bombeamento de água. O emprego de cada um dos sistemas depende diretamente da finalidade do uso final, da avaliação econômica, do nível de confiabilidade e de características específicas do projeto.

2.3.1– Sistemas isolados

Também conhecidos como autônomos, isto é, independentes da rede elétrica convencional, estes sistemas utilizam alguma forma de armazenamento de energia. Este armazenamento é obtido através de baterias, as quais são associadas a um dispositivo de controle de carga e de descarga.

A figura 05 representa a configuração básica de um sistema fotovoltaico isolado.

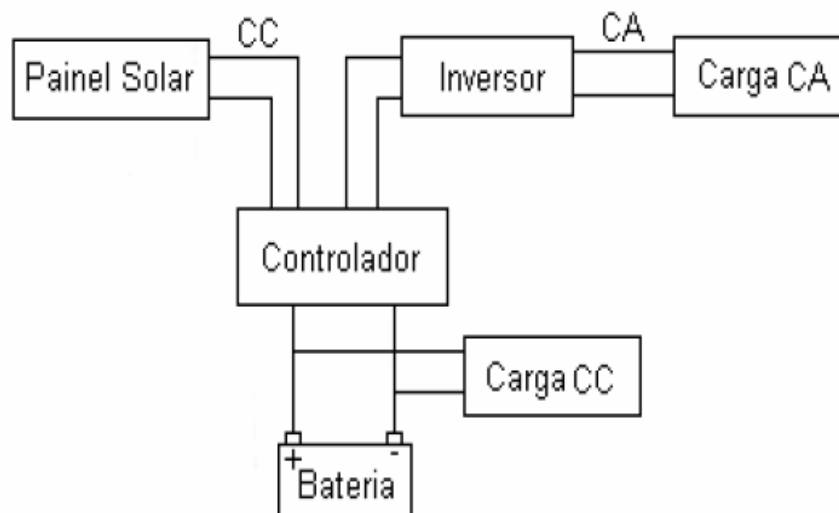


FIGURA 05 – CONFIGURAÇÃO BÁSICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO
FONTE:(FILHO, 2003)

O painel solar, através dos módulos fotovoltaicos, carrega as baterias durante os períodos de insolação. Estas baterias fornecem energia elétrica ao sistema. As cargas cc podem ser alimentadas diretamente pela bateria. O inversor será necessário para a alimentação das cargas de corrente alternada (ca). O controlador de carga é responsável pela vida útil da bateria, impedindo-a de carregar ou descarregar demasiadamente (ALVARENGA, 2001).

2.3.2– Sistemas híbridos

Consistem na combinação de outros sistemas fotovoltaicos com outras fontes de energia que assegurem a carga das baterias na ausência de sol. As fontes de energia auxiliares podem ser, geradores eólicos, diesel, gás, gasolina e outros combustíveis (figura 06).

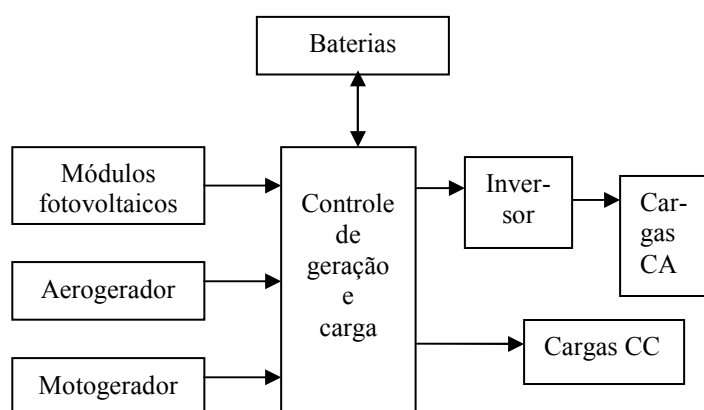


FIGURA 06 SISTEMA FOTOVOLTAICO HÍBRIDO PARA CARGAS DE CORRENTE ALTERNADA E CONTÍNUA
FONTE:(ALVARENGA, 2001)

Devem possuir sistemas de controle mais eficientes que os sistemas isolados de pequeno porte, pois são mais complexos devido à integração de várias formas de geração de energia elétrica.

São utilizados em sistemas de maior porte, com potência gerada na faixa de dezenas e centenas de quilowatt-hora-pico (kWp).

Devido a grande complexidade de arranjos e multiplicidade de opções, a forma de otimização do sistema torna-se um estudo particular para cada caso, exigindo ainda uma criteriosa análise econômica.

2.3.3– Sistemas conectados à rede

Representam uma fonte complementar ao sistema elétrico de grande porte ao qual estão conectados. Normalmente não utilizam armazenamento de energia, pois toda a gerada é entregue diretamente à rede. Para a injeção de energia na rede são utilizados inversores especiais que devem satisfazer a severas exigências de qualidade e de segurança.

A potência fotovoltaica instalada neste tipo de sistema é muito variável, podendo atingir centenas de kWp em centrais fotovoltaicas e dezenas de kWp para alimentação de cargas residenciais.

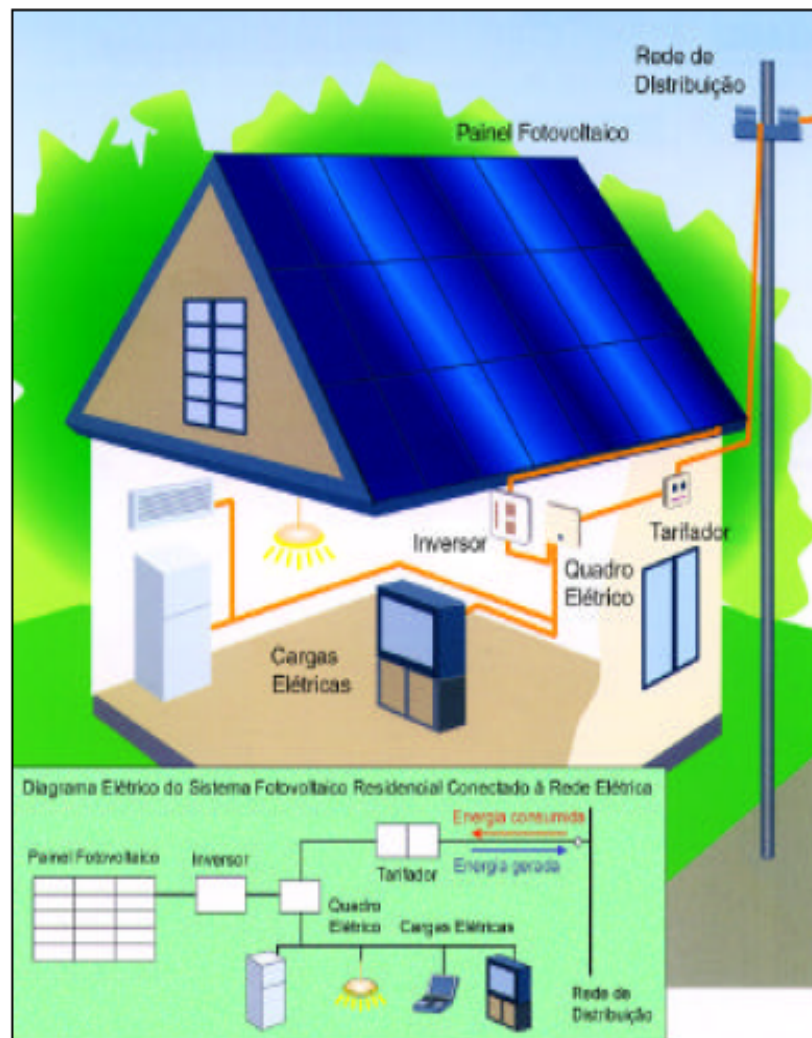


FIGURA 07 SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA
 FONTE:(CRESESB, 2006)

A figura 07 representa um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede elétrica de distribuição, onde normalmente a energia é injetada na rede de baixa tensão e o

medidor do usuário é bidirecional, efetuando um balanço entre a energia gerada e a consumida.

2.3.4– Sistemas de bombeamento d'água

Este sistema representa uma variação de um sistema isolado com uma característica específica, dispensando o armazenamento de energia, pois a água é armazenada em reservatórios, através de bombeamento.

Um sistema de bombeamento fotovoltaico típico consiste basicamente de gerador fotovoltaico, sistema de acondicionamento de potência, conjunto motobomba e equipamentos complementares. A figura 08 representa as modalidades tecnológicas mais utilizadas nos sistemas de bombeamento fotovoltaico.

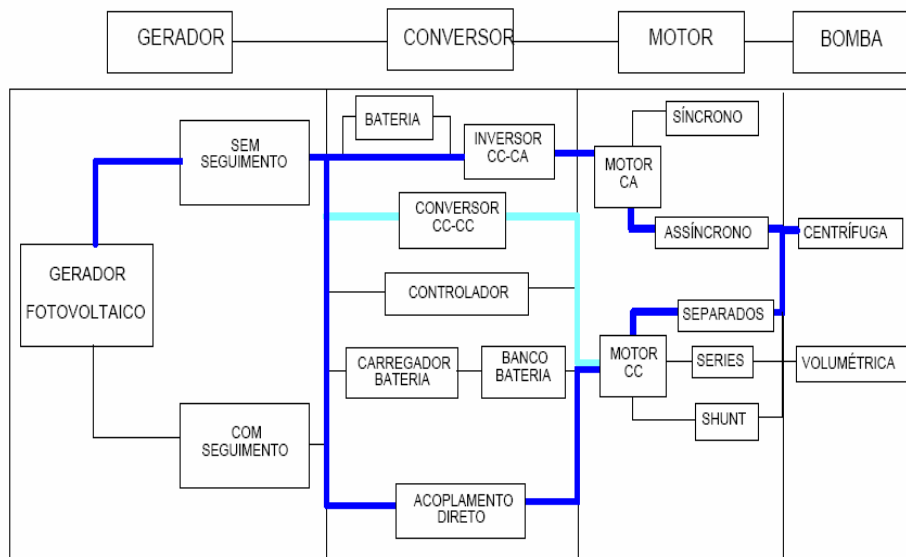


FIGURA 08 – MODALIDADES TECNOLÓGICAS MAIS UTILIZADAS NOS SISTEMAS DE BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICO
 FONTE:(FEDRIZZI, 1997)

A figura 09 ilustra algumas das possíveis configurações utilizadas neste tipo de sistema, sendo:

- Configuração A : grupo motobomba submersa
- Configuração B: bomba submersa e motor em superfície
- Configuração C: grupo motobomba flutuante
- Configuração D: grupo motobomba em superfície

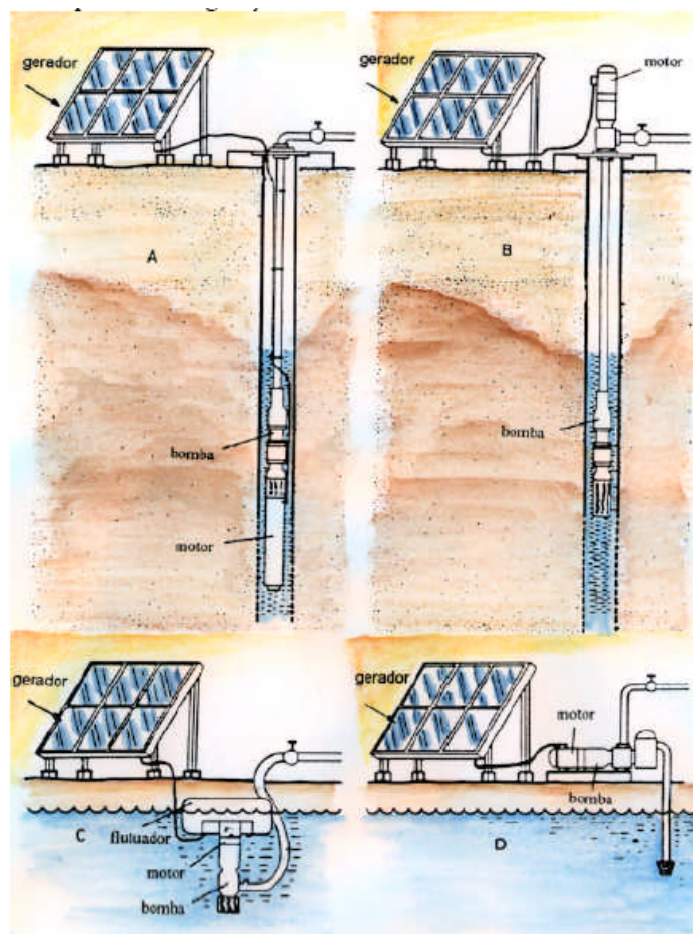


FIGURA 09 – EXEMPLOS DE CONFIGURAÇÃO DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICO
 FONTE:(FEDRIZZI, 1997)

2.4–Configurações de sistema fotovoltaico residencial rural

Em residências rurais isoladas (figura 10) geralmente são utilizados sistemas autônomos (isolados), de pequeno

porte, voltados basicamente para o atendimento da demanda de iluminação.

São tipicamente instalações em corrente contínua, 12 V ou 24 V, constituídos por módulos fotovoltaicos, geralmente de 50 Watts – pico (Wp) de potência, uma bateria recarregável, três a cinco lâmpadas fluorescentes, uma tomada para a conexão de um rádio ou uma televisão em corrente contínua, um controlador de carga responsável pelo gerenciamento do fluxo de energia do sistema, além da estrutura de suporte e cabos condutores (OLIVEIRA, 2005).



FIGURA 10 – PROPRIEDADE RURAL COM SISTEMA FOTOVOLTAICO
FONTE:(SEINPE, 2006)

Os parâmetros básicos para o correto dimensionamento de um sistema fotovoltaico rural são:

- **quantidade de energia a ser produzida**
- **quantidade de energia a ser consumida**
- **autonomia do sistema em períodos prolongados sem insolação**

A variável autonomia permite dimensionar o banco de baterias e as demais definem o dimensionamento dos módulos fotovoltaicos e conseqüentemente os demais equipamentos.

Segundo ALVARENGA (2001), os módulos fotovoltaicos deverão ser fixados em local livre de sombreamento entre duas horas após o nascer do sol e uma hora antes do pôr do Sol, em qualquer época do ano. Locais em que o crescimento da vegetação possa sombreá-los deverão ser evitados e as baterias devem ser instaladas á menor distância possível dos módulos.

Os módulos devem possuir inclinação em relação ao plano horizontal próxima à latitude do local de instalação, direcionados para o Norte geográfico, evitando ainda a sua instalação na posição horizontal, sem inclinação, para permitir o efeito de limpeza da chuva.

2.5– Sustentabilidade

Para garantir a sustentabilidade destes projetos, é necessária a realização de ações como, diagnóstico e o levantamento do perfil sócio-econômico-energético da comunidade; a capacitação e formação dos usuários; o correto dimensionamento do sistema; a instalação dentro de requisitos e normas técnicas e o monitoramento

Para que um programa de eletrificação rural, utilizando a energia solar fotovoltaica, tenha sucesso, não basta apenas instalar os equipamentos, é necessário um trabalho de capacitação, manutenção, assistência técnica e gerenciamento do novo recurso energético, que as comunidades passarão a utilizar.

A capacitação e informação são uma exigência quando se trata de implantar eletrificação rural fotovoltaica. O usuário é um dos objetivos maiores da capacitação. Na maioria dos casos, a eletricidade é um fator completamente novo na vida destas pessoas, o que requer uma extensa campanha de informação e educação, motivando o uso racional da eletricidade proporcionada pelos sistemas fotovoltaicos. O

usuário deve participar diretamente na manutenção preventiva, requerida pelos equipamentos utilizados. A capacitação técnica dos usuários pode ser feita através de cursos sobre o uso e a gestão dos sistemas com energia solar e a formação da modalidade, eletricista solar . O treinamento e capacitação fornecidos aos usuários devem permitir que o gerenciamento técnico, administrativo e financeiro, seja realizado pelos próprios beneficiários da eletricidade solar.

A manutenção seja ela, preventiva ou corretiva é de fundamental importância para garantir que o sistema de geração de energia elétrica local com energia solar possa funcionar por toda a vida útil do sistema. Devido à ausência de assistência técnica por um longo período, o estado de abandono das instalações de energia fotovoltaica, pode gerar na população um descrédito quanto à tecnologia solar, prejudicando imensamente a trajetória de uma das alternativas mais promissoras para a eletrificação de comunidades rurais. A reposição de peças e serviços deve se valer de esquemas que garantam a disponibilidade local de peças de reposição (ex.: lâmpadas, inversores eletrônicos, baterias, etc., ...) e serviços de manutenção são fundamentais para a eficácia do programa

em longo prazo. Um sistema fotovoltaico deve durar ao menos vinte anos fornecendo serviço útil, se as condições acima mencionadas forem levadas em conta.

2.6– Aspectos econômicos

A viabilidade econômica da instalação de um sistema fotovoltaico depende do custo de produção de eletricidade cobrir os custos suplementares em relação ao sistema de atendimento convencional. No caso de instalações em propriedades rurais isoladas os custos de produção de eletricidade, utilizando um sistema fotovoltaico, geralmente são comparados com os custos relacionados à expansão da rede elétrica convencional.

A avaliação do custo de eletricidade para o sistema fotovoltaico leva em consideração os investimentos necessários na aquisição, instalação e os gastos na manutenção do sistema.

As linhas de distribuição no meio rural podem ser trifásicas ou monofásicas (NAPER, 2006) dependendo da

carga a ser alimentada e das perspectivas de expansão do sistema, mas como as necessidades energéticas do consumidor rural de baixa renda são pequenas e, por haver pouca ou nenhuma perspectiva de aumento da demanda de energia elétrica devido aos fatores sócio-econômicos, o modelo mais utilizado para as linhas de distribuição é a linha Monofásica com Retorno por Terra (MRT- Alumínio).

TABELA 01
CUSTO DOMICILIAR DA ELETRIFICAÇÃO RURAL CONVENCIONAL EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE RESIDÊNCIAS A SEREM ATENDIDAS E DA DISTÂNCIA À REDE ELÉTRICA.

Número de Domicílio	Distância (Km)						
	0,5	1	2	5	8	9	10
1	2,964.89	4,644.69	7,971.42	17,951.59	27,931.76	31,258.48	34,585.21
5	1,619.71	2,459.62	4,644.69	9,634.78	14,624.87	16,288.23	17,951.59
10	647.92	815.91	1,148.58	2,459.62	3,770.66	4,207.68	4,644.69
15	593.02	705.01	926.80	1,731.26	2,605.29	2,896.63	3,187.98
20	565.58	649.57	815.91	1,367.08	2,022.60	2,241.11	2,459.62
30	538.12	594.12	705.01	1,037.69	1,439.91	1,585.59	1,731.26
50	516.16	549.76	616.30	815.91	1,617.19	1,082.04	1,148.58

- Valores em dólar

FONTE:(NAPER, 2006)

Analisando o sistema de eletrificação rural convencional, verifica-se que os custos crescem com a distância da linha de

distribuição e diminui com o aumento do número de residências beneficiadas (tabela 01).

No sistema fotovoltaico, os custos permanecerão constantes pois o sistema é dimensionado para uso específico, não possuindo variáveis.

A tabela 02 mostra a composição de custos de um sistema fotovoltaico autônomo para uma residência rural.

TABELA 02
CUSTOS RELATIVOS AO INVESTIMENTO INICIAL SISTEMA
FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL (EQUIPAMENTOS E MÃO DE OBRA).

Componentes	Valor unitário(US\$)	N.º de unidades	Custo (US\$)
• Módulo solar (50 Wp)	400.00	1	400.00
• Controlador de carga	67.24	1	67.24
• Bateria 100 Ah/12 V	128.45	1	128.45
• Divisor de tensão	21.55	1	21.55
• Luminária completa (4xfluorescentes 20 W/12 V)	17.24	4	68.96
• Parte elétrica (condutores, interruptores, ...)	43.10	1	43.10
• Poste, suporte e acessórios	75.86	1	75.86
• Instalação (mão-de-obra)	77.59	1	77.59
Custo total			882.75

- Valores em dólar

FONTE:(NAPER, 2006)

A viabilidade econômica deve ser analisada caso a caso, observando os critérios técnicos a serem adotados, tais como,

a distância do consumidor em relação à linha de distribuição mais próxima e do número de domicílios a serem atendidos.

Para uma edificação rural isolada, ou seja, distante da rede elétrica convencional, torna-se clara que a opção pelo sistema fotovoltaico torna-se bem mais vantajosa economicamente.

De acordo com ALVARENGA (2000), os custos de sistemas fotovoltaicos vêm reduzindo com o aperfeiçoamento dos processos de fabricação, com o aumento de escala de produção e com o aumento da concorrência. A tabela 03 indica os custos com a fabricação de módulos fotovoltaicos e as projeções de declínio de preços.

TABELA 03 - CUSTOS DIRETOS DE FABRICAÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS – US\$/Wp

Tecnologia	2000	2010
Silício monocristalino	2,45	1,45
Silício policristalino	2,10	1,15
Silício amorfo	2,70	1,40
Telureto de cádmio	2,30	0,95
CIS	2,25	1,00

FONTE:(ALVARENGA, 2000)

2.7– Perspectivas

O Brasil apresenta uma das melhores condições para o uso da energia solar, com uma das maiores médias de radiação, principalmente na região Nordeste, conforme observado figura 11.

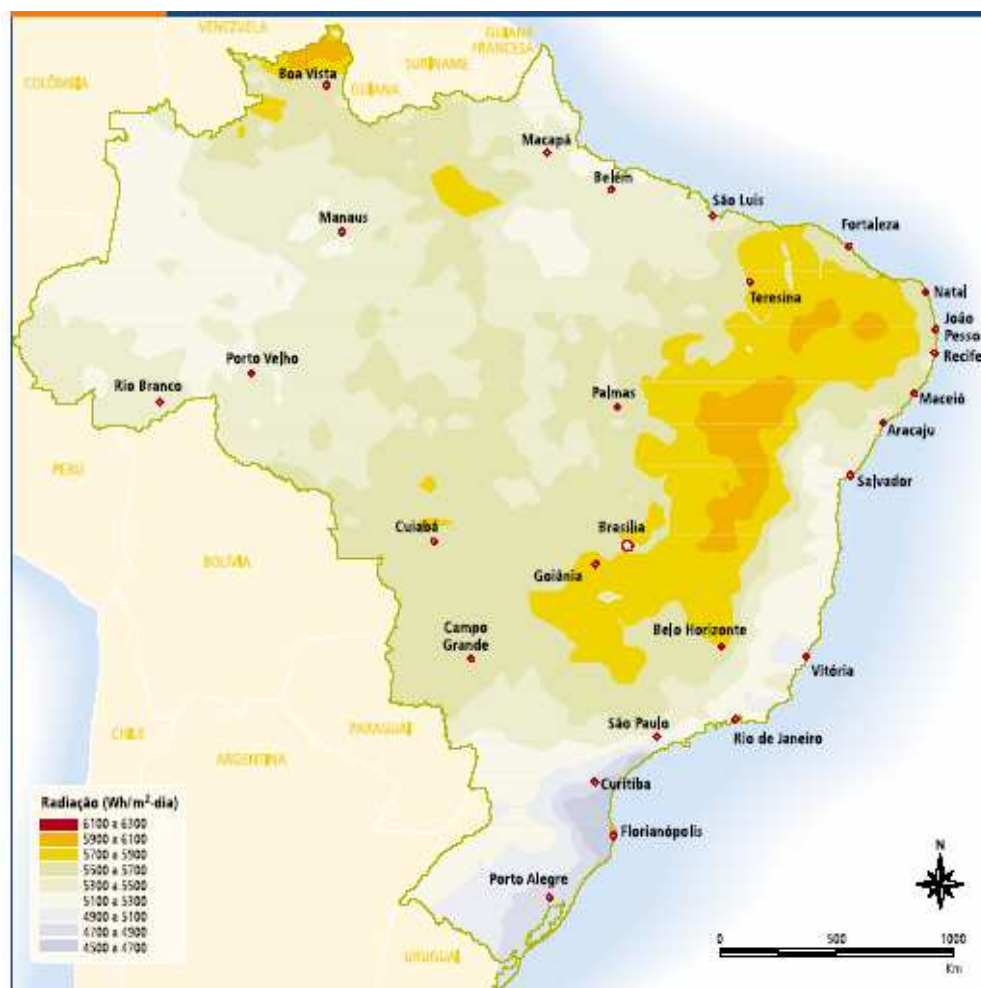


FIGURA 11 – RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL DIÁRIA – MÉDIA ANUAL TÍPICA (Wh/m².dia)
FONTE: (ANEEL, 2006)

Embora a tecnologia fotovoltaica venha sendo usada no Brasil nas últimas duas décadas, somente recentemente vem sendo reconhecida como uma opção potencial para localidades e domicílios situados longe da rede de distribuição de energia elétrica.

O avanço da tecnologia, principalmente na área de energia solar, vem criando opções para a geração alternativa de eletricidade, com a vantagem de ser não poluente.

Altas taxas de eficiência na conversão luz-eletricidade , obtidas através de novas tecnologias, significam que mais energia poderá ser gerada por célula, reduzindo o custo de cada unidade de eletricidade (watt) gerada e aumentando o fator de escala de utilização de sistemas fotovoltaicos no futuro.

A utilização da energia solar fotovoltaica teve nos últimos anos um acelerado crescimento, como observado na figura 12.

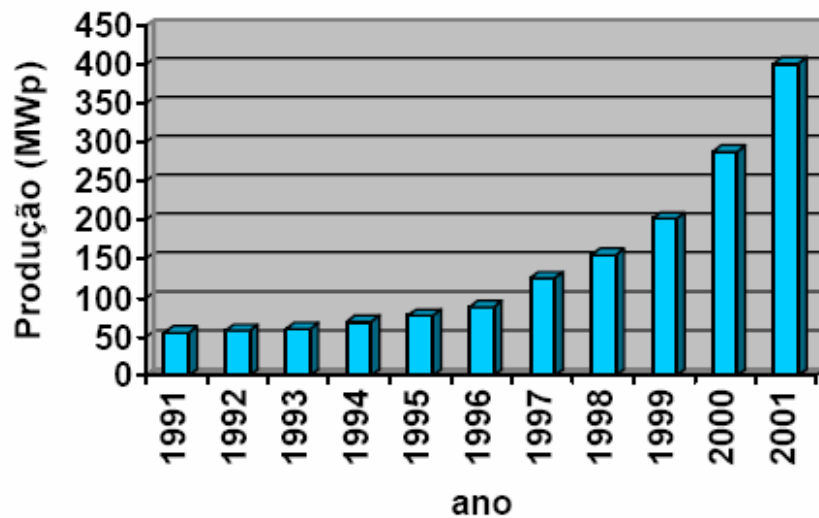


FIGURA 12 – EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO MUNDIAL DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS
 FONTE:(GREENPEACE, 2006)

O incremento no crescimento observado na figura 12 se deve aos programas de incentivo para ampliar a geração de eletricidade com fontes renováveis visando reduzir a emissão de gases de efeito estufa.

2.7.1– Programas de incentivo

No Brasil foram formulados e implementados alguns programas de difusão dessa tecnologia consolidando grupos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico.

2.7.1.1– PRODEEM

Desde 1995 está em vigência no Brasil um programa de grande porte de caráter público, PRODEEM (Programa de Desenvolvimento de Estados e Municípios, MME¹). O Programa, baseado principalmente nos sistemas fotovoltaicos, destina-se a melhorar as condições de vida da população rural¹ instalando de equipamentos de eletrificação rural, incluindo sistemas de bombeamento.

Três tipos de sistemas fotovoltaicos autônomos têm sido empregados no PRODEEM: sistemas fotovoltaicos de geração de energia elétrica, sistemas fotovoltaicos de bombeamento d'água e sistemas fotovoltaicos de iluminação pública.

Pela importância social que possui é fundamental a continuidade do PRODEEM. Entretanto, diante de grandes dificuldades, especialmente na falta de recursos para assistência técnica e manutenção dos equipamentos, o PRODEEM está parcialmente paralisado.

¹ Ministério de Minas e Energia

2.7.1.2– Programa “Luz Para Todos”

O Programa “Luz para Todos”, instituído através do Decreto n.º 4.873 de 11 de novembro de 2003, é uma iniciativa do governo federal que conta com a parceria dos governos estaduais e das distribuidoras de energia elétrica. O objetivo é levar eletricidade a mais de doze milhões de pessoas, em todo o território nacional, até 2008, com investimentos estimados em sete bilhões de reais

O mercado-alvo do programa são os pequenos produtores rurais, que utilizarão a energia como bem de consumo e, quando aplicável, como fator de produção em processos agropecuários.

É também um programa de caráter social, o que pode ser expresso pelo fato de que todas as ligações efetuadas não terão participação financeira dos beneficiados.

O programa contempla o atendimento das demandas do meio rural mediante de uma das três possibilidades: extensões de redes de distribuição, sistemas de geração descentralizadas com redes isoladas ou sistemas individuais. Para a escolha de

cada possibilidade são analisados os critérios técnicos, econômicos, ambientais e sociais.

Os sistemas de geração individuais compreendem as seguintes opções tecnológicas:

- Hidroeletricidade
- Solar fotovoltaica
- Energia eólica
- Biomassa
- Gerador diesel
- Sistemas híbridos

Para atendimentos domiciliares, utilizando o sistema de geração individual, o programa prevê além da implantação do sistema, a distribuição interna completa, isto é, fiação, eletrodutos, disjuntores de proteção, tomadas, lâmpadas e demais materiais de instalações.

Nos locais onde a rede convencional não se mostrar viável, ou seja, em áreas remotas e isoladas com difícil acesso à rede elétrica, serão instalados sistemas com painéis fotovoltaicos.

3– CONCLUSÕES

O suprimento energético a comunidades rurais isoladas e a áreas remotas ainda é um constante desafio, principalmente nos países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, devido às enormes disparidades econômicas e sociais e, muitas vezes, às características geográficas desses países.

Além de gerar desenvolvimento, a eletrificação de áreas rurais isoladas proporcionam diversos benefícios sociais, econômicos e culturais.

A geração local de energia, através da tecnologia fotovoltaica, para o meio rural e para áreas isoladas é uma importante ferramenta, visto que além de ser uma solução vantajosa economicamente em relação aos custos de extensão da rede elétrica, não proporciona impactos ambientais.

Para garantir a sustentabilidade dos projetos de implantação de sistemas fotovoltaicos em comunidades isoladas, faz-se necessária uma participação ativa do usuário na compreensão, capacitação e nas práticas de manutenções da tecnologia.

O grande potencial energético solar brasileiro associado ao avanço tecnológico, com a conseqüente redução dos custos, indicam boas perspectivas de ampliação da utilização de sistemas fotovoltaicos no país. Entretanto tais perspectivas, bem como os projetos em desenvolvimento, dependem fundamentalmente de programas de incentivo que possibilitem esquemas de financiamento para populações carentes e que promovam uma forte disseminação da tecnologia

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, 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 10 de maio/2006;
2. ALVARENGA, C. A.; LOBO, A. R. – Sistemas solares de energia para telecomunicações. Belo Horizonte: Clamper Sistemas Energéticos, 2000;
3. ALVARENGA, C. A. – Energia Solar. Lavras: UFLA / FAEPE, 2001;
4. CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, disponível em <http://www.cresesb.cepel.br/Publicacoes/download/Direng.PDF> - acesso em 19 de maio/2006;
5. ELETRONORTE – Centrais Elétricas do Norte do Brasil S. A. disponível em <http://www.eln.gov.br/luzparatodos/downloads/ManualRevisaoV2220805-final.pdf> - acesso em 11 de maio/2006;
6. FEDRIZZI, M. C – Fornecimento de Água com Sistemas de Bombeamento Fotovoltaico, São Paulo: Escola Politécnica-USP, Dissertação de Mestrado, 1997;
7. FILHO, N. P. – Inversores Monofásicos para Sistemas Fotovoltaicos de Energia Elétrica, São Luís - UFMA, Monografia, 2003;
8. GREENPEACE, disponível em http://www.greenpeace.org.br/energia/pdf/dossie_ - acesso em 05 de junho/2006;

9. NAPER - Núcleo de Apoio a Projetos de Energias Renováveis - da Universidade Federal de Pernambuco, disponível em <http://www.ufpe.br/naper/analise.doc>- acesso em 28 de maio/2006;
10. OLIVEIRA, L. G. M. – Estratégias de Controle de Carga e Descarga em Sistemas Fotovoltaicos Residenciais, São Paulo – PIPGE / USP, Dissertação de Mestrado, 2005;
11. PRIEB, C. W. M. – Desenvolvimento de um Sistema de Ensaio de Módulos Fotovoltaicos, Porto Alegre -UFRS, Dissertação de Mestrado, 2002;
12. ROSEMBACK, R. H. – Conversor CC-CC Bidirecional Buck-Boost Atuando como Controlador de Carga de Baterias em um Sistema Fotovoltaico, Juiz de Fora -UFJF, Dissertação de Mestrado, 2004;
13. SEINPE - Secretaria de Energia, da Indústria Naval e do Petróleo, disponível em <http://www.seinpe.rj.gov.br/Home-Gera/Paraty.htm> - acesso em 23 de maio/2006;