



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

## **Trabalho de Conclusão de Curso**

**Estudos e Análises das Obras do Programa Luz Para  
Todos do Governo Federal, num Contexto Método  
Convencional Versus Método Alternativo Isolado Solar  
Fotovoltaico**

Aluno: Breno Picanço Araújo  
Prof. Orientador: Leimar Oliveira

Mat: 20221125

Abril de 2009

## **Agradecimentos**

A Deus, por guiar e iluminar meus caminhos para sempre o bem.

Aos meus pais, por sempre acreditar no meu trabalho e me apoiar em todos os projetos de minha vida.

A minha esposa, por sempre entender e permanecer ao meu lado em toda minha duradoura vida acadêmica.

Ao amigo Euler Macedo pela dedicação e ajuda no desenvolvimento desse projeto.

Ao meu orientador por quem adquiri admiração e respeito. E por fim, a todos aqueles que torceram para que eu viesse a me tornar um Engenheiro Eletricista.

## **Resumo**

O aproveitamento da energia gerada pelo Sol, inesgotável na escala terrestre, tanto como fonte de calor quanto de luz, é hoje, sem sombra de dúvidas, uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentarmos os desafios do novo milênio.

Este trabalho se trata de Estudos e Análises das Obras do Programa Luz Para Todos do Governo Federal, num Contexto Método Convencional Versus Método Alternativo Isolado Solar Fotovoltaico.

Será comentado a seguir, um pouco sobre o funcionamento das placas fotovoltaicas, além física por trás dos componentes e apresentado em detalhes, cada equipamento usado na implementação de um Sistema Solar Fotovoltaico - SIGFI - Padrão ANEEL, como Painéis ou Módulos Solares, Controlador de Carga, Baterias, Inversor.

Também será mostrado as vantagens e desvantagens dos métodos citados. A importância da imensa “rodovia elétrica” que abrange a maior parte do território brasileiro e que é constituída pelas conexões realizadas ao longo do tempo, comentaremos o Sistema Interligado Nacional (SIN), além das grandes linhas de transmissão.

## **Abstract**

The use of the energy generated by the Sun, inexhaustible in the terrestrial scale, as much source of heat as of light, it is today, without shadow of doubts, one of the more promising energy alternatives for us to face the challenges of the new millennium.

This work is treated of Studies and Analyses of the Works of the Programa Luz Para Todos of the Federal Government, in a Context Conventional Method Versus Isolated Alternative Method Solar Photovoltaic.

It will be commented on to proceed, a little on the operation of the photovoltaic's panel, beyond physics behind the components and presented in details, each equipment used in the implementation of a Photovoltaic System - SIGFI - standard ANEEL, as Panels or Solar Modules, Controller of Load, Batteries, Inversor.

It will also be shown the advantages and disadvantages of the mentioned methods. The importance of the immense "electric highway" that it includes most of the Brazilian territory and that it is constituted by the connections accomplished along the time, we will comment on the Sistema Interligado Nacional (SIN), besides the great transmission lines.

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>6</b>
<b>2. LEGISLAÇÃO DO PROJETO.....</b>	<b>7</b>
<b>3. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....</b>	<b>9</b>
3.1. EFEITO FOTOVOLTAICO .....	10
3.2. TIPOS DE CÉLULAS .....	12
3.2.1. Silício Monocristalino .....	12
3.2.2. Silício Policristalino .....	13
3.2.3. Silício Amorfo .....	14
<b>4. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS .....</b>	<b>15</b>
4.1. CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	17
4.2. FATORES QUE AFETAM AS CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS MÓDULOS.....	19
<b>5. SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS SIGFI - PADRÃO ANEEL.....</b>	<b>20</b>
5.1 COMPARAÇÃO DE PREÇOS PELA ENERGIA GERADA DURANTE A VIDA ÚTIL DO SISTEMA.....	29
5.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	29
5.3 CUSTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO .....	30
<b>6. MÉTODO CONVENCIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA .....</b>	<b>31</b>
6.1 O SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL (SIN) .....	31
6.2 TRANSMISSÃO .....	33
<b>7. ANÁLISE COMPARATIVA DOS SISTEMAS ESTUDADOS.....</b>	<b>34</b>
<b>8. CONCLUSÕES.....</b>	<b>36</b>
<b>9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>37</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>38</b>

# 1. Introdução

O programa Luz para Todos, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), com a participação da Eletrobrás e empresas controladas, objetiva levar energia elétrica para 12 milhões de pessoas do meio rural brasileiro.

A ligação da energia elétrica nos domicílios é gratuita e inclui a instalação de três pontos de luz e duas tomadas em cada residência, configuração destinada a atender as necessidades de uma família de baixa renda.

Neste trabalho propõe-se apresentar um estudo referente sobre as diferenças em termos de viabilidade do método convencional de universalização da energia do programa Luz Para Todos com a utilização do sistema de geração individual Solar Fotovoltaico.

No capítulo 3 deste trabalho será apresentado que para a utilização de energia elétrica obtida a partir do sol, se faz necessário o uso de painéis fotovoltaicos que convertam a luz do sol em energia elétrica. Quanto maior a luminosidade incidente sobre os painéis, maior é a energia elétrica resultante da conversão. A energia elétrica convertida no processo é armazenada num banco de baterias, o que possibilita a utilização do sistema mesmo durante o período noturno, dias chuvosos ou com pouca luminosidade.

No capítulo 6 apresenta-se o método convencional, que consiste na ligação de unidades consumidoras a partir da transmissão e distribuição de energia elétrica por meio de postes e cabos aéreos, esse tipo de configuração é o mais usual nos dias atuais e pode possuir um custo relativamente alto devido as grandes distâncias entre as unidades consumidoras.

Os principais objetivos do Programa são:

- elevar a taxa de atendimento rural a 100%, até o final do prazo estipulado (2010);
- valorizar a qualidade de vida na área rural pelo acesso à energia elétrica;
- contribuir para a redução do êxodo rural e dos custos dele decorrentes;
- contribuir para o desenvolvimento econômico, financeiro e social dos municípios.

## 2. Legislação do Projeto

De acordo com a legislação do programa Luz para Todos tem-se: Código de Águas, instituído pelo Decreto Nº 24.643, de 10/07/1934, regulamentado pelo Decreto Nº 41.019/57, com nova redação dada pelo Decreto 98.335/89. Estabelece os conceitos para o financiamento da expansão do sistema elétrico brasileiro.

O programa possui como característica limitar a participação da União, através das concessionárias de serviços públicos de distribuição de energia até o limite de receita a ser auferida, complementada por participação financeira do consumidor. A regulamentação da forma de cálculo desse limite estava a cargo da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) e foi estabelecido na Portaria 005/90, DNAEE.

A Lei 10.438/02: de 26/04/02, alterada pela Lei no 10.762, de 11/11/03, atribuiu à ANEEL a tarefa de estabelecer metas de universalização, do acesso ao serviço público de energia elétrica, utilizando uma sistemática de áreas nas quais o atendimento de novas ligações, para unidades consumidoras com carga instalada de até 50 kW atendidas em tensão secundária, deverá ser realizado sem ônus de qualquer espécie para o solicitante.

A resolução Nº 223/03 da ANEEL: de 29/04/03, fixa as datas de limite para o alcance da universalização além das condições gerais para a elaboração dos Planos de Universalização de Energia, determinando a conformação, pelas concessionárias, de Programas Anuais de Expansão do Atendimento, a serem enviados para análise e aprovação pela ANEEL.

Outra característica importante é a desoneração do consumidor de participar financeiramente das obras de extensão de rede elétrica. A concessionária deverá atender sem qualquer ônus para o solicitante ou consumidor, ao pedido de fornecimento ou aumento de carga.

Este programa tem como objetivo, até o ano de 2010, prazo recentemente prorrogado pelo presidente Luis Inácio Lula da Silva, promover o acesso à energia elétrica à totalidade da população do meio rural brasileiro. O programa tem como meta atender cerca de 3 milhões de famílias brasileiras residentes na área rural, beneficiando cerca de 12 milhões de pessoas.

As prioridades estabelecidas pelo programa são:

- Municípios com Índice de Atendimento a Domicílios inferior a 85%, calculado com base no Censo 2000;
- Populações em áreas de Unidades de Conservação da Natureza;

- Comunidades atingidas por barragens de usinas hidrelétricas ou por obras do sistema elétrico, cuja responsabilidade não esteja definida para o executor do empreendimento;
- Atendimento de pequenos e médios agricultores;
- Escolas públicas, postos de saúde e poços de abastecimento d'água;
- Projetos que enfoquem o uso produtivo da energia elétrica e que promovam o desenvolvimento local integrado;
- Projetos de eletrificação rural, paralisados por falta de recursos, que atendam a comunidades e povoados rurais;
- Assentamentos rurais;
- Municípios com Índice de Desenvolvimento Humano inferior à média estadual;
- Projetos para o desenvolvimento da agricultura familiar ou de atividades de artesanato de base familiar;
- Populações em áreas de uso específico de comunidades especiais, tais como: minorias raciais, comunidades remanescentes de quilombos e comunidades extrativistas.

O Programa contempla o atendimento das demandas no meio rural, mediante uma das três possibilidades:

1. Extensão de Redes de Distribuição;
2. Sistemas de Geração Descentralizada com Redes Isoladas;
3. Sistemas Individuais

O Programa Luz para Todos, do Governo Federal, coordenado pela Eletrobrás, nestes mais de quatro anos de vigência, realizou um total de 1,6 milhão de ligações, beneficiando 7,8 milhões de pessoas, segundo dados do Ministério de Minas e Energia, divulgados em maio de 2008 pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Como pode ser observado na Tabela 1 abaixo, a maior parte das ligações foi realizada nas regiões Nordeste e Sudeste.

**Tabela 1 – Estimativa do número de novos consumidores ligados à rede elétrica pelo o Programa Luz Para Todos – Brasil, 2004 -2008.**

<b>Regiões</b>	<b>Pessoas Beneficiadas</b>	<b>Numero de ligações realizadas</b>	
<b>Norte</b>	1.200.000	244.300	15,5%
<b>Nordeste</b>	3.800.000	772.800	49,0%
<b>Sudeste</b>	1.600.000	322.200	20,4%
<b>Sul</b>	650.000	129.500	8,2%
<b>Centro-Oeste</b>	550.000	108.900	6,9%
<b>Total</b>	7.800.000	1.577.700	100%

Fonte: MME, 2008 (Valores acumulados até maio de 2008)

### 3. Energia Solar Fotovoltaica

Inicialmente o desenvolvimento da tecnologia apoiou-se na busca, por empresas do setor de telecomunicações, de fontes de energia para sistemas instalados em localidades remotas.

A conversão de energia solar em energia elétrica foi verificado pela primeira vez por Edmond Becquerel, em 1839 onde constatou uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor quando exposto a luz. Em 1876 foi montado o primeiro aparato fotovoltaico resultado de estudos das estruturas no estado sólido, e apenas em 1956 iniciou-se a produção industrial seguindo o desenvolvimento da microeletrônica. A célula fotovoltaica é a unidade fundamental do processo de conversão.

Ainda em 1956 a utilização de fotocélulas foi de papel decisivo para os programas espaciais. Com este impulso, houve um avanço significativo na tecnologia fotovoltaica onde aprimorou-se o processo de fabricação, a eficiência das células e seu peso. Com a crise mundial de energia de 1973/74, a preocupação em estudar novas formas de produção de energia fez com a utilização de células fotovoltaicas não se restringisse somente para programas espaciais mas que fosse intensamente estudados e utilizados no meio terrestre para suprir o fornecimento de energia. Porém, para tornar economicamente viável essa forma de conversão de energia, seria necessário, naquele momento, reduzir em até 100 vezes o custo de produção das células solares em relação ao daquelas células usadas em explorações espaciais.

Um dos fatores que impossibilitava a utilização da energia solar fotovoltaica em larga escala era o alto custo das células fotovoltaicas. As primeiras células foram produzidas com o custo de US\$600/W para o programa espacial. Com a ampliação dos mercados e várias empresas voltadas para a produção de células fotovoltaicas, o preço tem reduzido ao longo dos anos podendo ser encontrado hoje, para grandes escalas, o custo médio de US\$ 8,00/W.

Em 1993 a produção de células fotovoltaicas atingiu a marca de 60 MWp, sendo o Silício quase absoluto no “ranking” dos materiais utilizados. O Silício, segundo elemento mais abundante no globo terrestre, tem sido explorado sob diversas formas: monocristalino, policristalino e amorfo. No entanto, a busca de materiais alternativos é intensa e concentra-se na área de filmes finos, onde o silício amorfo se enquadra. Células de filmes finos, além de utilizarem menor quantidade de material do que as que apresentam estruturas cristalinas, requerem uma menor quantidade de energia no seu processo de fabricação. Ou seja, possuem uma maior eficiência energética.

Atualmente, os sistemas fotovoltaicos vêm sendo utilizados em instalações remotas possibilitando vários projetos sociais, agropastoris, de irrigação e comunicações. As facilidades de um sistemas fotovoltaico tais como: modularidade, baixos custos de manutenção e vida útil longa, fazem com que sejam de grande importância para instalações em lugares desprovidos da rede elétrica.

### 3.1. Efeito Fotovoltaico

O efeito fotovoltaico dá-se em materiais da natureza denominados semicondutores que se caracterizam pela presença de bandas de energia onde é permitida a presença de elétrons (banda de valência) e de outra onde totalmente “vazia” (banda de condução).

O semicondutor mais usado é o silício. Seus átomos se caracterizam por possuírem quatro elétrons que se ligam aos vizinhos, formando uma rede cristalina. Ao adicionarem-se átomos com cinco elétrons de ligação, como o fósforo, por exemplo, haverá um elétron em excesso que não poderá ser emparelhado e que ficará "sobrando", fracamente ligado a seu átomo de origem. Isto faz com que, com pouca energia térmica, este elétron se livre, indo para a banda de condução. Diz-se assim, que o fósforo é um dopante doador de elétrons e denomina-se dopante *n* ou impureza *n*.

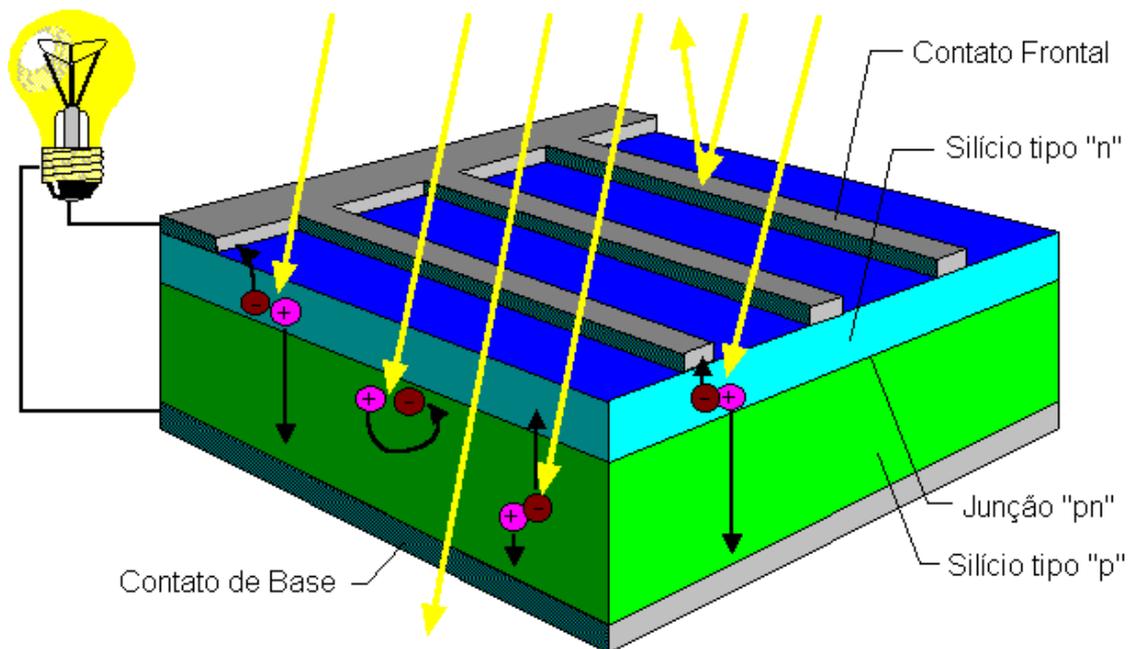


Figura 1 - Corte transversal de uma célula fotovoltaica.

Se por outro lado, introduzem-se átomos com apenas três elétrons de ligação, como é o caso do boro, haverá uma falta de um elétron para satisfazer as ligações com os átomos de silício da rede. Esta falta de elétron é denominada buraco ou lacuna e ocorre que, com pouca energia térmica, um elétron de um sítio vizinho pode passar a esta posição, fazendo com que o buraco se desloque. Diz-se portanto, que o boro é um aceitador de elétrons ou um dopante *p*.

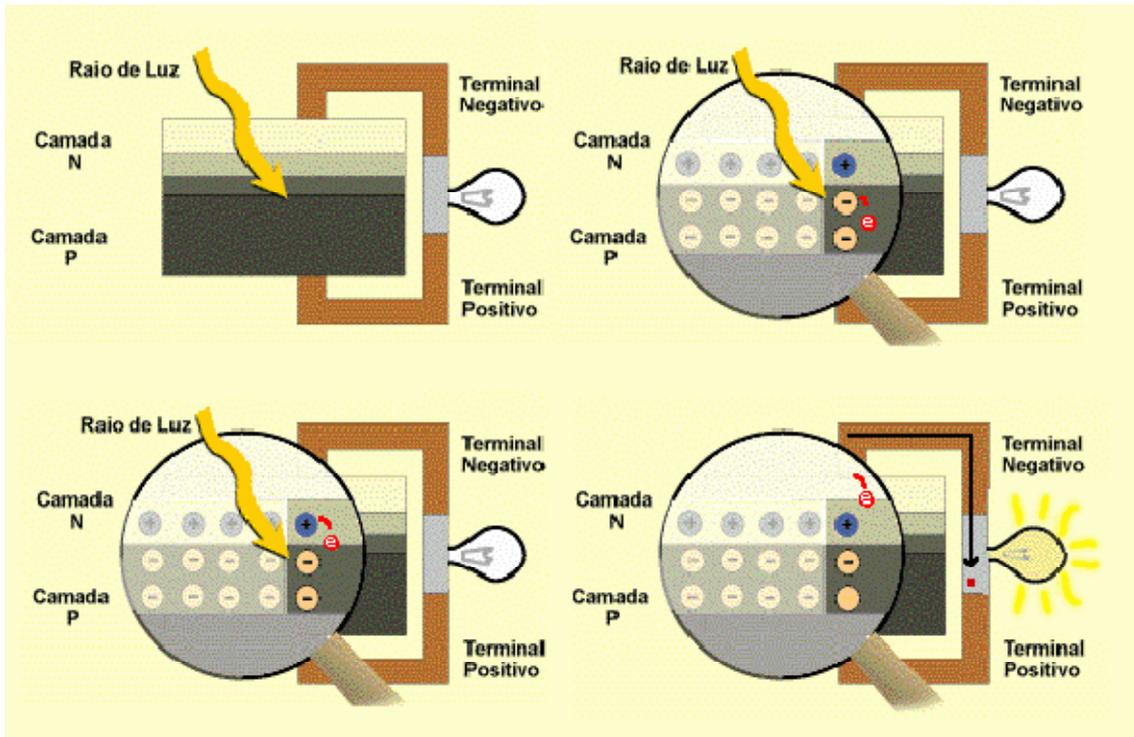


Figura 2 - Efeito fotovoltaico na junção pn.

Se, partindo de um silício puro, forem introduzidos átomos de boro em uma metade e de fósforo na outra, será formado o que se chama junção pn. O que ocorre nesta junção é que elétrons livres do lado n passam ao lado p onde encontram os buracos que os capturam; isto faz com que haja um acúmulo de elétrons no lado p, tornando-o negativamente carregado e uma redução de elétrons do lado n, que o torna eletricamente positivo. Estas cargas aprisionadas dão origem a um campo elétrico permanente que dificulta a passagem de mais elétrons do lado n para o lado p; este processo alcança um equilíbrio quando o campo elétrico forma uma barreira capaz de barrar os elétrons livres remanescentes no lado n.

Se uma junção pn for exposta a fótons com energia maior que o gap, ocorrerá a geração de pares elétron-lacuna; se isto acontecer na região onde o campo elétrico é diferente de zero, as cargas serão aceleradas, gerando assim, uma corrente através da junção; este deslocamento de cargas dá origem a uma diferença de potencial ao qual chamamos de Efeito Fotovoltaico. Se as duas extremidades do "pedaço" de silício forem

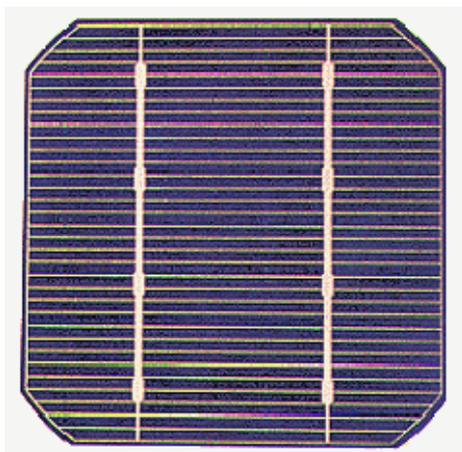
conectadas por um fio, haverá uma circulação de elétrons. Esta é a base do funcionamento das células fotovoltaicas.

## 3.2. Tipos de Células

As células fotovoltaicas são fabricadas, na sua grande maioria, usando o silício (Si) e podendo ser constituída de cristais monocristalinos, policristalinos ou de silício amorfo.

### 3.2.1. Silício Monocristalino

A célula de silício monocristalino é historicamente a mais usada e comercializada como conversor direto de energia solar em eletricidade e a tecnologia para sua fabricação é um processo básico muito bem constituído.



**Figura 3 - Célula de Silício Monocristalino.**

A fabricação da célula de silício começa com a extração do cristal de dióxido de silício. Este material é desoxidado em grandes fornos, purificado e solidificado. Este processo atinge um grau de pureza em 98 e 99% o que é razoavelmente eficiente sob o ponto de vista energético e custo. Este silício para funcionar como células fotovoltaicas necessita de outros dispositivos semicondutores e de um grau de pureza maior devendo chegar na faixa de 99,9999%.

Para se utilizar o silício na indústria eletrônica além do alto grau de pureza, o material deve ter a estrutura monocristalina e baixa densidade de defeitos na rede. O processo mais utilizado para se chegar as qualificações desejadas é chamado “processo Czochralski”. O silício é fundido juntamente com uma pequena quantidade de dopante, normalmente o boro que é do tipo p. Com um fragmento do cristal devidamente orientada e sob rígido controle de temperatura, vai-se extraíndo do material fundido um

grande cilindro de silício monocristalino levemente dopado. Este cilindro obtido é cortado em fatias finas de aproximadamente 300 $\mu$ m.

Após o corte e limpeza de impurezas das fatias, deve-se introduzir impurezas do tipo N de forma a obter a junção. Este processo é feito através da difusão controlada onde as fatias de silício são expostas a vapor de fósforo em um forno onde a temperatura varia entre 800 a 1000oC.

Dentre as células fotovoltaicas que utilizam o silício como material base, as monocristalinas são, em geral, as que apresentam as maiores eficiências. As fotocélulas comerciais obtidas com o processo descrito atingem uma eficiência de até 15% podendo chegar em 42,8% em células feitas em laboratórios.

### 3.2.2. Silício Policristalino

As células de silício policristalino são mais baratas que as de silício monocristalino por exigirem um processo de preparação das células menos rigoroso. A eficiência, no entanto, cai um pouco em comparação as células de silício monocristalino.

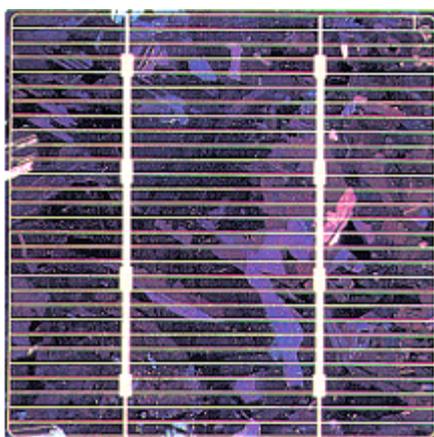


Figura 4 - Célula de Silício Policristalina.

O processo de pureza do silício utilizada na produção das células de silício policristalino é similar ao processo do Si monocristalino, o que permite obtenção de níveis de eficiência compatíveis. Basicamente, as técnicas de fabricação de células policristalinas são as mesmas na fabricação das células monocristalinas, porém com menores rigores de controle. Podem ser preparadas pelo corte de um lingote, de fitas ou depositando um filme num substrato, tanto por transporte de vapor como por imersão. Nestes dois últimos casos só o silício policristalino pode ser obtido. Cada técnica produz cristais com características específicas, incluindo tamanho, morfologia e concentração de impurezas. Ao longo dos anos, o processo de fabricação tem alcançado eficiência máxima de 12,5% em escalas industriais.

### **3.2.3. Silício Amorfo**

Uma célula de silício amorfo difere das demais estruturas cristalinas por apresentar alto grau de desordem na estrutura dos átomos. A utilização de silício amorfo para uso em fotocélulas tem mostrado grandes vantagens tanto nas propriedades elétricas quanto no processo de fabricação. Por apresentar uma absorção da radiação solar na faixa do visível e podendo ser fabricado mediante deposição de diversos tipos de substratos, o silício amorfo vem se mostrando uma forte tecnologia para sistemas fotovoltaicos de baixo custo. Mesmo apresentando um custo reduzido na produção, o uso de silício amorfo apresenta duas desvantagens: a primeira é a baixa eficiência de conversão comparada às células mono e policristalinas de silício; em segundo, as células são afetadas por um processo de degradação logo nos primeiros meses de operação, reduzindo assim a eficiência ao longo da vida útil.

Por outro lado, o silício amorfo apresenta vantagens que compensam as deficiências acima citados, são elas:

- processo de fabricação relativamente simples e barato;
- possibilidade de fabricação de células com grandes áreas;
- baixo consumo de energia na produção.

## 4. Módulos Fotovoltaicos

Pela baixa tensão e corrente de saída em uma célula fotovoltaica, agrupam-se várias células formando um módulo. O arranjo das células nos módulos podem ser feito conectando-as em série ou em paralelo.

Ao conectar as células em paralelo, soma-se as correntes de cada módulo e a tensão do módulo é exatamente a tensão da célula. A corrente produzida pelo efeito fotovoltaico é contínua. Pelas características típicas das células (corrente máxima por volta de 3A e tensão muito baixa, em torno de 0,7V) este arranjo não é utilizado, salvo em condições muito especiais.

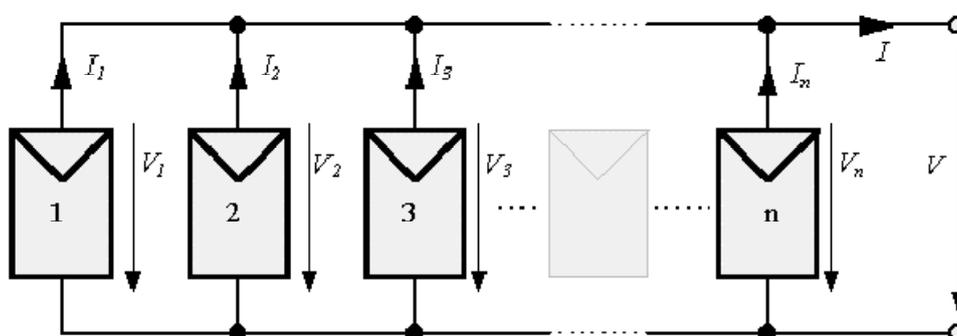


Figura 5 - Conexão de células em paralelo.

A conexão mais comum de células fotovoltaicas em módulos é o arranjo em série. Este consiste em agrupar o maior número de células em série onde soma-se a tensão de cada célula chegando a um valor final de 12V o que possibilita a carga de acumuladores (baterias) que também funcionam na faixa dos 12V.

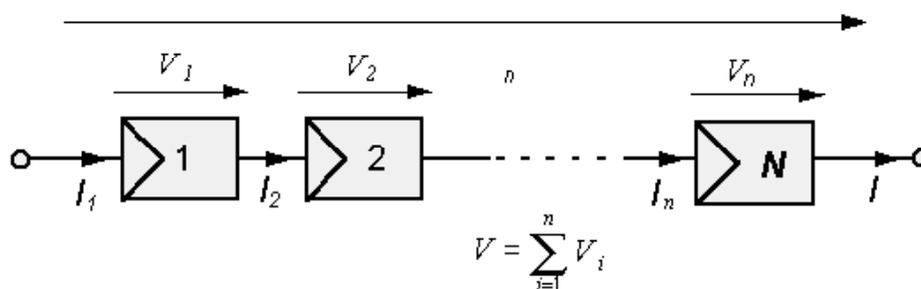


Figura 6 - Arranjo das células em série.

Quando uma célula fotovoltaica dentro de um módulo, por algum motivo, estiver encoberta a potência de saída do módulo cairá drasticamente que, por estar ligada em série, comprometerá todo o funcionamento das demais células no módulo. Para que toda a corrente de um módulo não seja limitado por uma célula de pior desempenho (o caso de estar encoberta), usa-se um diodo de passo ou de “bypass”. Este diodo serve como um caminho alternativo para a corrente e limita a dissipação de calor na célula defeituosa. Geralmente o uso do diodo bypass é feito em grupamentos de células o que, torna muito mais barato comparado ao custo de se conectar um diodo em cada célula.

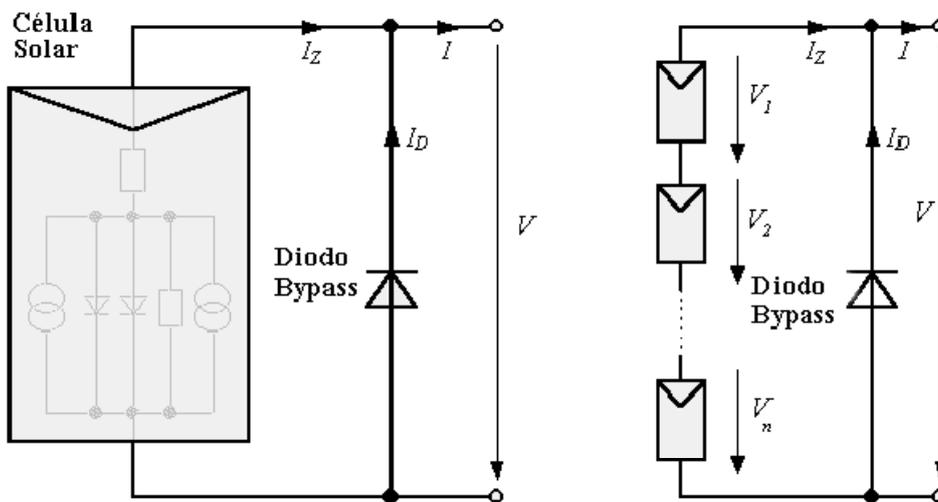


Figura 7 - Possível ligação para um diodo bypass entre células.

Um outro problema que pode acontecer é quando surge um corrente negativa fluindo pelas células ou seja, ao invés de gerar corrente, o módulo passa a receber muito mais do que produz. Esta corrente pode causar queda na eficiência das células e, em caso mais drástico, a célula pode ser desconecta do arranjo causando assim a perda total do fluxo de energia do módulo. Para evitar esses problemas, usa-se um diodo de bloqueio impedindo assim correntes reversas que podem ocorrer caso liguem o módulo diretamente em um acumulador ou bateria.

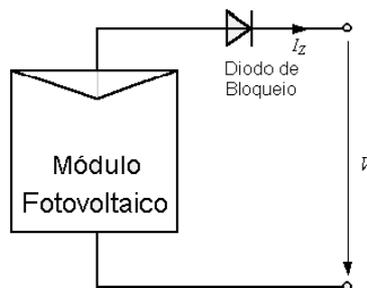


Figura 8 - Diodo de bloqueio.

## 4.1. Características elétricas dos módulos fotovoltaicos

Geralmente, a potência dos módulos é dada pela potência de pico. Também necessário quanto este parâmetro, existem outras características elétricas que melhor caracterizam a funcionalidade do módulo. As principais características elétricas dos módulos fotovoltaicos são as seguintes:

- Voltagem de Circuito Aberto ( $V_{oc}$ )
- Corrente de Curto Circuito ( $I_{sc}$ )
- Potência Máxima ( $P_m$ )
- Voltagem de Potência Máxima ( $V_{mp}$ )
- Corrente de Potência Máxima ( $I_{mp}$ )

A condição padrão para se obter as curvas características dos módulos é definida para radiação de  $1000\text{W/m}^2$  (radiação recebida na superfície da Terra em dia claro, ao meio dia), e temperatura de  $25^\circ\text{C}$  na célula (a eficiência da célula é reduzida com o aumento da temperatura).

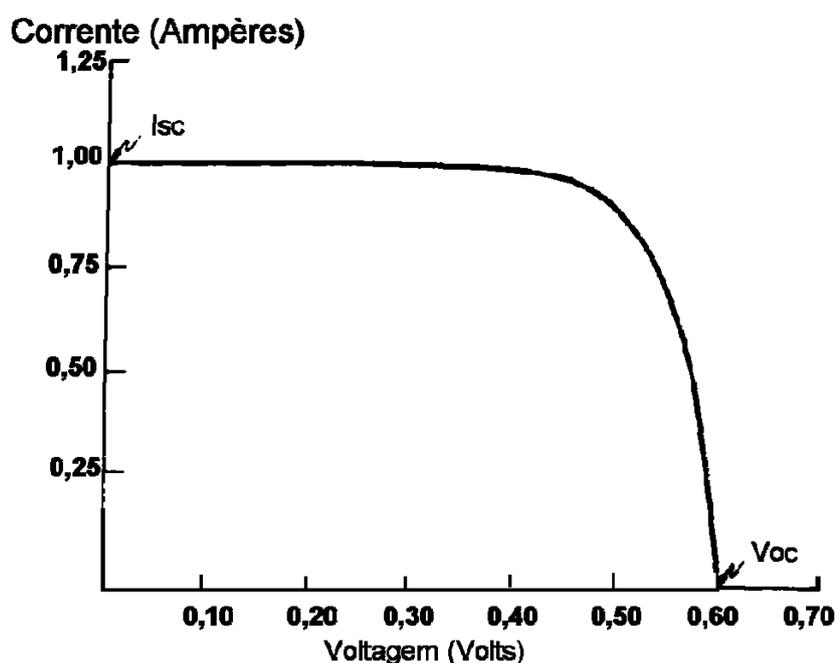


Figura 9 - Curva característica  $I \times V$  mostrando a corrente  $I_{sc}$  e a tensão  $V_{oc}$ .

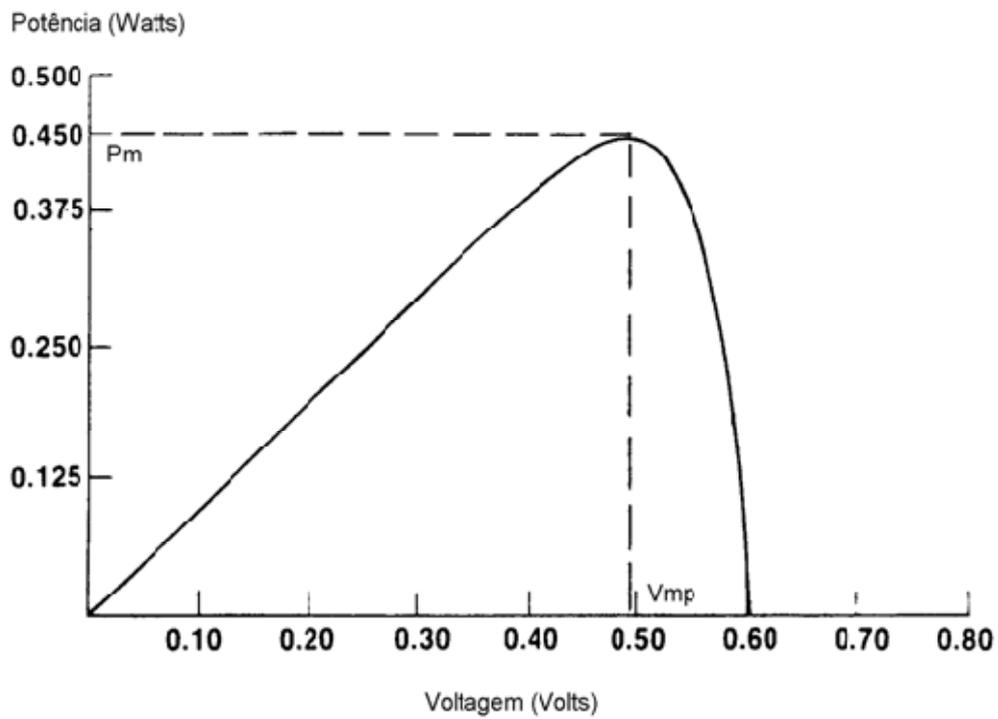


Figura 10 - Curva típica de potência versus tensão.

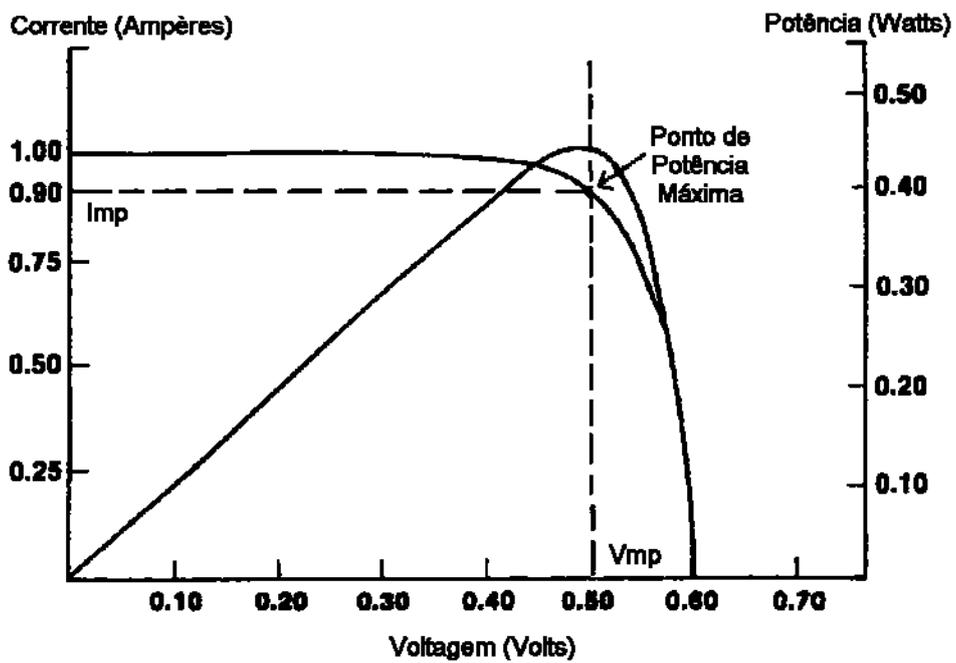


Figura 11 - Parâmetros de potência máxima.

## 4.2. Fatores que afetam as características elétricas dos módulos

Os principais fatores que influenciam nas características elétricas de um painel é a Intensidade Luminosa e a Temperatura das Células. A corrente gerada nos módulos aumenta linearmente com o aumento da Intensidade luminosa. Por outro lado, o aumento da temperatura na célula faz com que a eficiência do módulo caia abaixando assim os pontos de operação para potência máxima gerada.

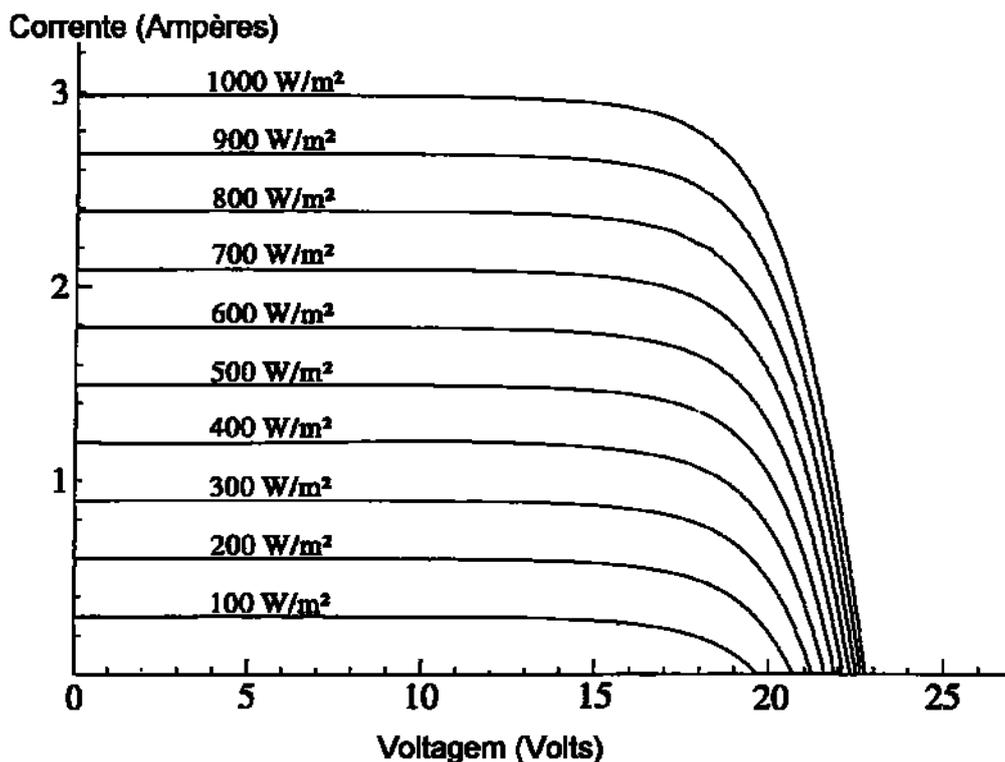


Figura 12 - Efeito causado pela variação de intensidade luminosa.

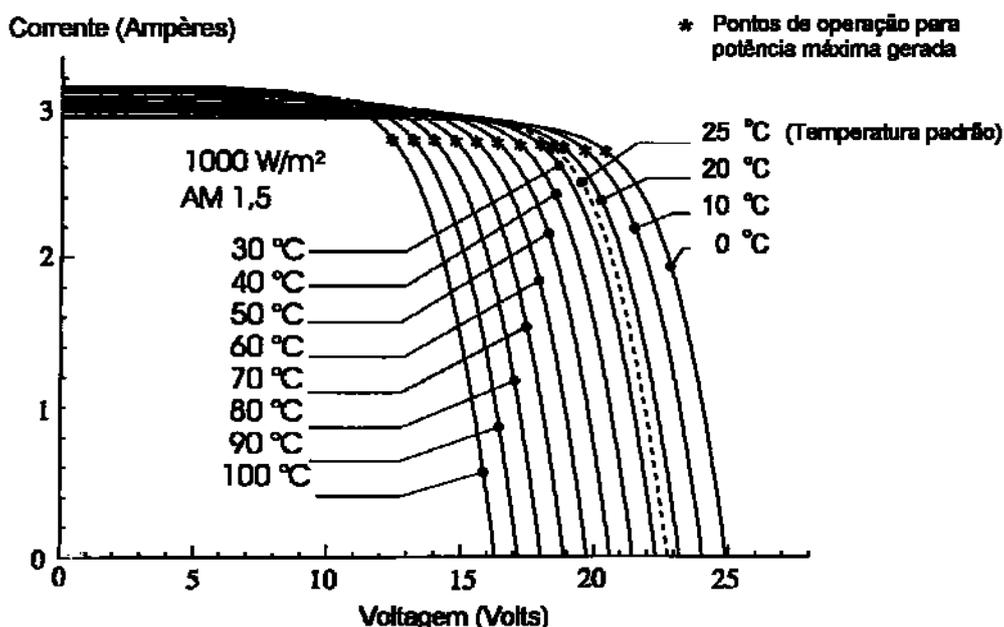


Figura 13 - Efeito causado pela temperatura na célula.

## 5. Sistemas Solares Fotovoltaicos SIGFI - Padrão ANEEL

O Sol fornece anualmente, para a atmosfera terrestre,  $1,5 \times 10^{18}$  kWh de energia. Trata-se de um valor considerável, correspondendo a 10.000 vezes o consumo mundial de energia neste período. Este fato vem indicar que, além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra, a radiação solar constitui-se numa inesgotável fonte energética, havendo um enorme potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outra forma de energia (térmica, elétrica, etc.).

A Figura 14 mostra a média anual do total diário de irradiação solar global incidente no território brasileiro. O Brasil, por ser um país cujo território está localizado na sua maior parte na região intertropical, possui grande potencial para aproveitamento de energia solar durante todo ano. A utilização da energia solar traz benefícios em longo prazo, viabilizando o desenvolvimento de regiões remotas onde o custo da eletrificação pela rede convencional é demasiadamente alto com relação ao retorno financeiro do investimento.

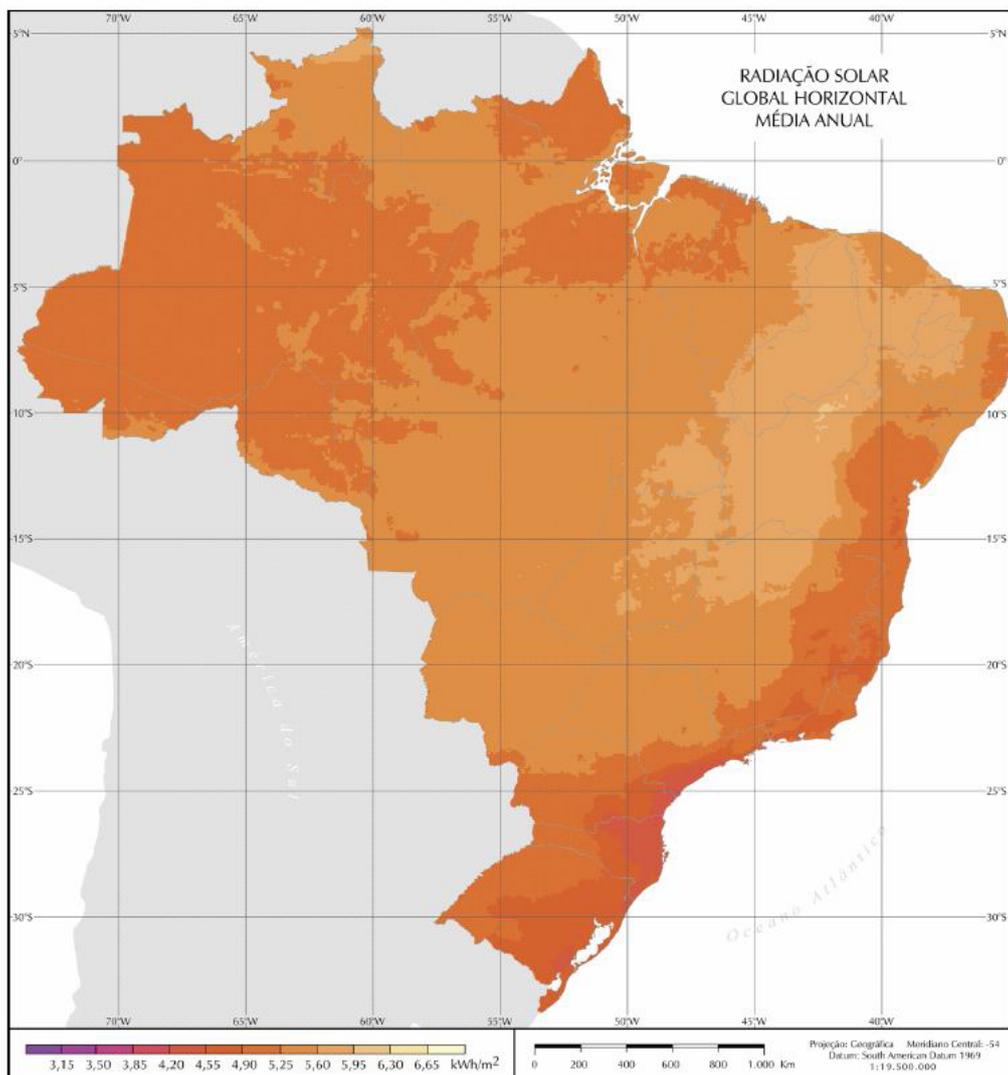


Fig. 14 - Mapa de Irradiação Solar no Brasil

Pode-se observar que a média anual de irradiação global apresenta boa uniformidade, com médias anuais relativamente altas em todo país. O valor máximo de irradiação global - 6,5kWh/m<sup>2</sup> - ocorre no norte do estado da Bahia, a menor irradiação solar global - 4,25kWh/m<sup>2</sup> ocorre no litoral norte de Santa Catarina. Os valores de irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro (4200-6700 kWh/m<sup>2</sup>) são superiores aos da maioria dos países da União Européia, como Alemanha (900-1250 kWh/m<sup>2</sup>), França (900-1650kWh/m<sup>2</sup>) e Espanha (1200-1850 kWh/m<sup>2</sup>), onde projetos de energia solar, alguns contando com fortes incentivos governamentais, são amplamente disseminados, portanto essa característica é um grande atrativo para a utilização do Sistema Solar Fotovoltaico em nosso país.

No Brasil, o sistema individual Solar Fotovoltaico ainda é pouco utilizado, atualmente apenas alguns estados aderiram a este método de fornecimento para seus consumidores através do programa Luz Para Todos dentre eles estão a Bahia, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Rio de Janeiro, através das concessionárias de energia CEMIG, COELBA, ELETROSUL e AMPLA respectivamente.

As grandes distâncias e a demanda local relativamente baixa torna em muitos casos os custos de transmissão e distribuição proibitivos. Por exemplo, a maior parte da região Amazônica não está conectada a um sistema de distribuição de eletricidade.

A ANEEL, através da resolução 083/2004, definiu os parâmetros básicos de SIGFIs (Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes) e uma série de regulamentos para as concessionárias na aplicação destes sistemas descentralizados, conforme apresentado na Tabela 2. Para cada sistema SIGFI definiu-se o consumo diário, a autonomia, a potência mínima disponibilizada, e utilizou-se como principal parâmetro para definição do sistema, a disponibilidade mensal garantida de energia elétrica. Este último parâmetro é o resultado de uma pesquisa sobre o consumo de residências de baixa renda.

**Tabela 2 – Comparativo dos Sistemas SIGFI.**

<b>Classe de Atendimento</b>	<b>Consumo Diário de Referência(Wh/dia)</b>	<b>Autonomia mínima(dias)</b>	<b>Potência Mínima Disponibilizada (W)</b>	<b>Disponibilidade Mensal Garantida (kWh)</b>
SIGFI13	435	2	250	13
SIGFI30	1000	2	500	30
SIGFI45	1500	2	700	45
SIGFI60	2000	2	1000	60
SIGFI80	2650	2	1250	80

Fonte: Kyocera Solar do Brasil.

A Figura 15, apresenta o levantamento feito pela concessionária COELBA, na Bahia, com a marcação dos respectivos SIGFIs. Como pode-se verificar, ocorreu uma maior utilização do modelo SIGFI 30 seguido do SIGFI 13, o que representa um consumo diário entre 435 a 1000 Wh/dia, e com uma disponibilidade mensal de no máximo 30 kWh.

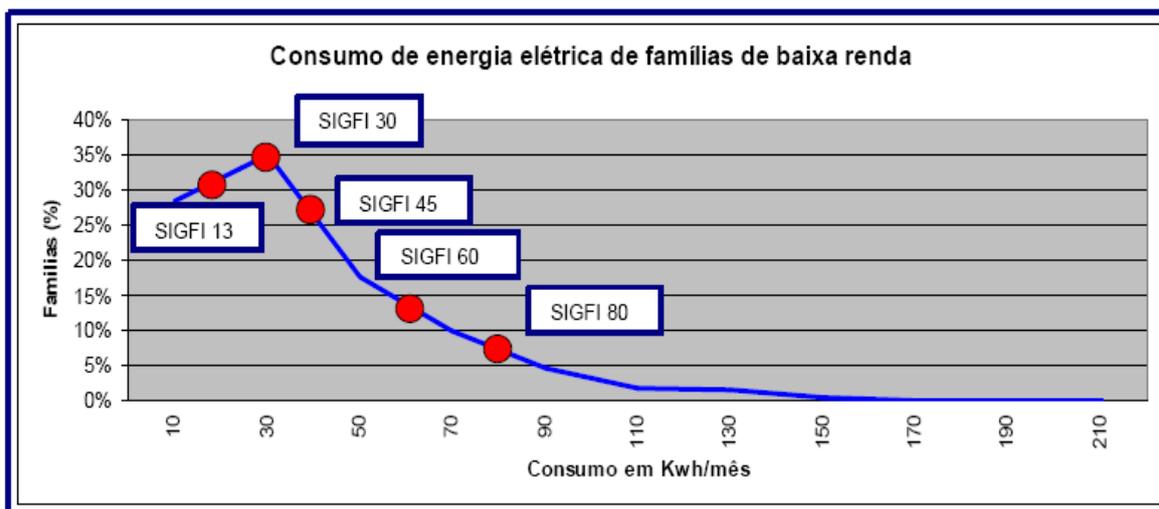


Fig. 15 - Consumo de energia elétrica de famílias de baixa renda.

Visando a implementação de um Sistema Solar Fotovoltaico, fez-se necessário a verificação em termos de custos de componentes e dos sistemas completos, considerando-os como padrão nacional, obteve-se então os seguintes valores apresentados na Tabela 3 a partir de informações cedidas pela empresa UNITRON®.

**Tabela 3 – Custo de Implementação dos Sistemas.**

Estimativa de custo	SIGFI13	SIGFI30	SIGFI45	SIGFI60	SIGFI80
Painel Solar	R\$ 4.614,00	R\$ 7.910,00	R\$ 11.865,00	R\$ 15.820,00	R\$ 21.753,00
Baterias	R\$ 566,00	R\$ 1.071,00	R\$ 2.142,00	R\$ 2.142,00	R\$ 3.213,00
Inversor / Controlador	R\$ 1.019,00	R\$ 3.759,00	R\$ 3.759,00	R\$ 3.759,00	R\$ 6.684,00
Controlador	-	R\$ 286,00	R\$ 286,00	R\$ 286,00	R\$ 741,00
SOMA	R\$ 6.199,00	R\$ 13.026,00	R\$ 18.052,00	R\$ 22.007,00	R\$ 32.391,00

Dados obtidos da empresa UNITRON. (maio 2008)

Os sistemas são fornecidos completos, prontos para o uso. A tensão de saída do equipamento é de 110 ou 220 Volts de corrente alternada senoidal para atender os eletrodomésticos mais comuns encontrados na região, conforme apresentado na Tabela 4.

**Tabela 4 – Dimensionamento elétrico médio de uma residência de baixa renda.**

Equipamento	Potência (W)	Quantidade	Utilização Horas/Dia	Consumo (W.h)
Radio AM/FM	25	1	3	75
TV	35	1	3	105
Ventilador	100	1	1	100
Lâmpada compacta 9W	9	4	4	144
Liquidificador	60	1	0.2	12
<b>Total</b>				<b>436</b>

Fonte COELBA.

A seguir com o auxílio das Figuras 16, 17, 18 e 19 apresenta-se o padrão de residências atendidas pelo o sistema fotovoltaico de abastecimento de energia elétrica.



Fig. 16 – Residência de baixa renda no interior da Bahia. Fonte: Kyocera Solar do Brasil.



Fig. 17 – Residência de baixa renda no interior da Bahia. Fonte: Kyocera Solar do Brasil.



Fig. 18 – Residência de baixa renda no interior da Bahia. Fonte: COELBA.



Fig. 19 – Residência de baixa renda no interior da Bahia. Fonte: COELBA.

Como pode-se observar, as residências atendidas pelo projeto do Luz Para Todos de uma maneira geral possuem um limitado número de equipamentos eletroeletrônicos, viabilizando assim, a instalação de um Sistema Solar Fotovoltaico em alguns casos.

Para um melhor entendimento de um Sistema Solar Fotovoltaico, apresenta-se com o auxílio da Figura 20, um diagrama esquemático dos equipamentos necessários para a instalação deste tipo de Sistema numa residência de baixa renda.

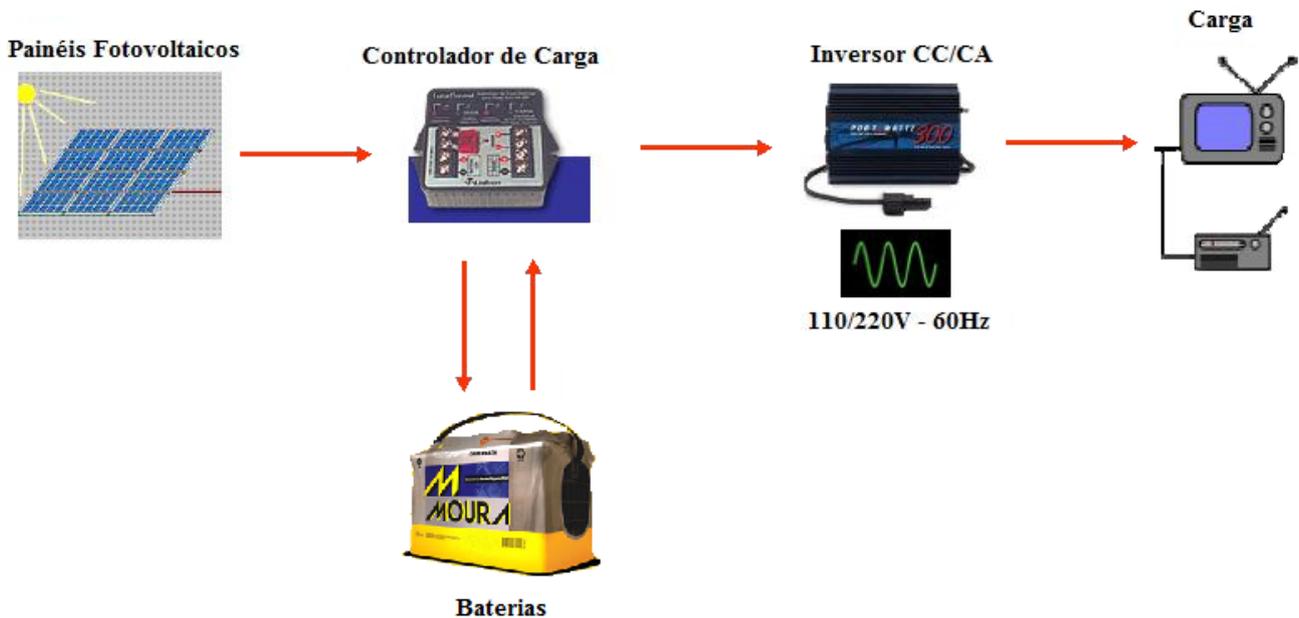


Fig. 20 - Diagrama Esquemático da Instalação de um Sistema Fotovoltaico.

Na sequência, apresenta-se em detalhes cada equipamento usado na implementação de um Sistema Solar Fotovoltaico:

**Painéis ou módulos solares:** são formados por células fotovoltaicas que convertem a energia da luz em eletricidade. A luz é formada por fótons, partículas de energia luminosa, que ao se chocarem com as células do painel, causam a transferência desta energia aos elétrons que constituem a célula fotovoltaica, formando corrente e o campo elétrico da célula, cria-se assim a tensão. Com ambos, temos a potência que é medida em Watts.

O painel solar, montado através de várias células fotovoltaicas, conforme sua quantidade e característica da interligação, adquire tensões e correntes diferentes. Ao ser colocado na presença da luz, passa a gerar eletricidade e sua potência máxima é medida em Wp (Watt pico).

Os sistemas geradores são de altíssima confiabilidade, pois não dão manutenção, não se desgastam, e duram por mais de 30 anos.

Utilizam uma fonte renovável como matéria-prima que é a luz do Sol e são ecologicamente corretos, pois seu processo não gera qualquer resíduo.

**Controlador de Carga:** é um equipamento essencial a qualquer instalação solar fotovoltaica, pois é o "cérebro" do sistema solar. Sua instalação é entre o painel solar e a bateria, fazendo a conexão da carga de consumo a ambos.

O controlador tem como função principal o controle da carga e da descarga da bateria, fazendo a regulação na carga, não sobrecarregando ou superaquecendo, controlando quando está devidamente carregada no modo de flutuação e quando há a descarga, não permite que ultrapasse o nível de comprometimento, o que poderá danificar o acumulador de forma irremediável.

Como função complementar, protege o painel solar, a bateria e os equipamentos conectados ao sistema contra curto-circuito, inversão de polaridade e falhas que possam ocorrer, que porventura poderiam comprometer a vida de todo o conjunto.

**Baterias:** as utilizadas nos Sistemas Solares podem ser as convencionais, todavia, é altamente recomendável o uso de baterias desenvolvidas especificamente para esta aplicação. As principais vantagens das baterias de descarga profunda sobre as convencionais são:

- Vida útil maior do que as convencionais, quando aplicadas em sistemas solares.
- Alta confiabilidade
- Alta densidade de energia
- Livres de manutenção
- Baixa resistência na recarga
- Permitem até 90% de descarga
- Temperatura de trabalho de - 15° a + 45° C.

**Inversor:** consiste em converter uma tensão de entrada contínua em uma tensão de saída alternada simétrica de amplitude e frequência pré-estabelecidas. A tensão fornecida pelos painéis solares podem ser de 12, 24, 48, ou 125V CC, estes níveis de tensão são convertidos em tensões alternadas de 110 ou 220V com o auxílio do inversor.

Após a comparação entre os modelos existentes para implementação de um Sistema Solar Fotovoltaico e o estudo das necessidades de consumo energético de uma família de baixa renda, verificou-se a importância de comparação e viabilidade deste tipo de Sistema com o método convencional de distribuição de energia elétrica que será melhor apresentado no capítulo seguinte.

Na sequência, tem-se alguns exemplos apresentados nas Figuras 21 e 22 dos equipamentos instalados nas unidades consumidoras abastecidas pelo o sistema fotovoltaico.



Fig.21 - Quadro Geral de um Sistema Fotovoltaico



Fig. 22 - Quadro Elétrico no Interior de uma residência

## **5.1 Comparação de preços pela energia gerada durante a vida útil do sistema.**

Uma comparação mais fiel da real diferença de preços entre a energia solar e as demais fontes pode ser feita, utilizando exclusivamente critérios técnicos, desconsiderando efeitos ambientais, sociais e demais fatores cuja valoração possa ser considerada subjetiva. A seguinte metodologia é utilizada:

a) Comparação utilizando o preço da energia gerada, ao invés da potência instalada. Como a energia solar fotovoltaica possui custo de operação e manutenção desprezível, principalmente por não necessitar de combustível para operar e nem ter peças móveis para sofrer manutenção complexa, seu investimento de instalação é diluído por toda a sua vida útil, correspondente à energia gerada; e

b) Comparação com o preço da energia das fontes convencionais que é paga pela unidade consumidora, após o sistema de transmissão e distribuição, ao invés do valor cobrado pela usina geradora.

O sistema fotovoltaico utilizado na geração distribuída produz energia diretamente na residência do consumidor, podendo ocorrer no próprio telhado da unidade consumidora. Logo o valor que deve ser utilizado como referência para as fontes convencionais é a energia cobrada pela concessionária distribuidora para a classe residencial, a qual considera, entre outros custos:

- energia gerada pela usina;
- linhas de transmissão;
- rede de distribuição;
- operação e manutenção;
- encargos setoriais, em especial a conta de consumo de combustíveis fósseis (CCC), a qual encarece a energia hidráulica como forma de subsídio para a geração termelétrica nos sistemas isolados, e a compensação financeira pela utilização de recursos hídricos.

## **5.2 Vantagens e Desvantagens do Sistema Fotovoltaico**

A utilização de máquinas rotativas, tais como turbina e gerador, necessitam de uma rotina de manutenção mais complexa, devido ao desgaste natural das peças móveis, além de gerar poluição sonora durante o seu funcionamento.

A energia solar, por outro lado, não necessita ser extraída, refinada e nem transportada para o local da geração, o qual é próximo à carga, evitando também os custos com a transmissão em alta tensão, sem falar nas perdas naturais em longas redes

de transmissão de energia. Utiliza células solares, responsáveis pela geração de energia, e um inversor para transformar a tensão e frequência para os valores nominais dos aparelhos. Este processo é mais simples, sem emissão de gases poluentes ou ruídos e com necessidade mínima de manutenção.

Os custos envolvendo todas estas etapas necessárias para a geração de energia devem ser computados no momento em que se compara a energia solar com as outras fontes. Devido à sua simplicidade, esta forma renovável de obter eletricidade possui vantagens econômicas.

### **5.3 Custos de Operação e Manutenção**

Sistemas de energia solar fotovoltaicos, uma vez instalados, não requerem muito esforço de manutenção ou durante sua operação. Porém, os consumidores têm a maior dificuldade de se adaptar a limitação do sistema em termos de fornecimento restrito de energia elétrica. Mesmo com muitas instruções e manuais descritivos, as famílias precisam certo período para se adequar ao sistema solar. Quando conectadas à rede da concessionária, a conta de luz, no fim do mês, tem para elas um papel de agente educativo. Já em um sistema solar, fica-se limitado pelo controlador de carga, que pode impor a falta de energia como alerta do consumo excessivo.

A manutenção do sistema se restringe aos intervalos prefixados para a troca de bateria ou ocasiões imprevisíveis de falhas dos componentes eletrônicos como controladores e inversores. Casos de maior frequência são a queima de fusíveis ou disparo de disjuntores, ambos condicionados dentro do gabinete dos componentes eletrônicos, com acesso restrito a concessionária.

Em uma análise superficial, as energias renováveis, aparentemente, apresentam-se com preço final da energia mais elevado do que o sistema convencional centralizado de fornecimento de eletricidade. Entretanto a simplicidade com que esta energia é gerada promove uma conseqüente redução de custos quando todos os processos necessários são contabilizados.

## 6. Método Convencional de Distribuição de Energia Elétrica

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em 2007 foram realizadas mais de 1,8 milhão de ligações residenciais. Parte delas decorreu do crescimento vegetativo da população, mas parte integrou o Programa Luz para Todos. Como mostra a Tabela 5 a seguir, embora em números absolutos a maior parte tenha sido instalada na região Sudeste, o maior impacto – medido pelas variações percentuais – ocorreu nas regiões Norte e Nordeste.

**Tabela 5 - Unidades Consumidoras - variação 2006/2007 (em 1000 unidades)**

Região	2006	2007	Variação	
			Absoluta	%
Norte	2.620	2.745	125	4,8%
Nordeste	12.402	13.076	674	5,4
Sudeste	24.399	25.101	702	2,9
Sul	7.319	7.520	201	2,8
Centro-Oeste	3.579	3.703	125	3,5
<b>Brasil</b>	<b>50.319</b>	<b>52.146</b>	<b>1.827</b>	<b>3,6</b>

Fonte: EPE, 2008.

### 6.1 O Sistema Interligado Nacional (SIN)

O SIN abrange as regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte do Norte. Em 2008, concentra aproximadamente 900 linhas de transmissão que somam 89,2 mil quilômetros nas tensões de 230, 345, 440, 500 e 750 kV (também chamada rede básica que, além das grandes linhas entre uma região e outra, é composta pelos ativos de conexão das usinas e aqueles necessários às interligações internacionais). Além disso, abriga 96,6% de toda a capacidade de produção de energia elétrica do país, oriunda de fontes internas ou de importações, principalmente do Paraguai por conta do controle compartilhado da usina hidrelétrica de Itaipu.

Em seguida, na Figura 23 apresenta-se o mapa do Brasil contendo a representação do Sistema Interligado Nacional.



Fig.23 - Sistema de Transmissão - Horizonte 2007-2009, Fonte AEEB 3ª Ed.

Com relação a geração e transmissão de energia elétrica, por exemplo, o país conta com um sistema (conjunto composto por usinas, linhas de transmissão e ativos de distribuição) principal: o Sistema Interligado Nacional (SIN). Essa imensa “rodovia elétrica” abrange a maior parte do território brasileiro e é constituída pelas conexões realizadas ao longo do tempo, de instalações inicialmente restritas ao atendimento exclusivo das regiões de origem: Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte.

Além disso, há diversos sistemas de menor porte, não-conectados ao SIN e, por isso, chamados de Sistemas Isolados, que se concentram principalmente na região Amazônica, no Norte do país. Isto ocorre porque as características geográficas da região, composta por floresta densa e heterogêna, além de rios caudalosos e extensos, dificultaram a construção de linhas de transmissão de grande extensão que permitissem a conexão ao SIN.

Na sequência, apresenta-se algumas das principais características do sistema de transmissão empregado no Brasil.

## **6.2 Transmissão**

O segmento de transmissão no Brasil é composto em 2008 por mais de 90 mil quilômetros de linhas e operado por 64 concessionárias. Essas empresas, que obtiveram as concessões ao participar de leilões públicos promovidos pela Aneel, são responsáveis pela implantação e operação da rede que liga as usinas (fontes de geração) às instalações das companhias distribuidoras localizadas junto aos centros consumidores (tecnicamente chamados de centros de carga).

As concessões de transmissão são válidas por 30 anos e podem ser prorrogadas por igual período. A grande extensão da rede de transmissão no Brasil é explicada pela configuração do segmento de geração, constituído, na maior parte, de usinas hidrelétricas instaladas em localidades distantes dos centros consumidores. A principal característica desse segmento é a sua divisão em dois grandes blocos: o Sistema Interligado Nacional (SIN) apresentado na seção 6.1, que abrange a quase totalidade do território brasileiro, e os Sistemas Isolados, instalados principalmente na região Norte.

Na continuidade, pode-se caracterizar os Sistemas Isolados por serem predominantemente abastecidos por usinas térmicas movidas a óleo diesel e óleo combustível – embora também abriguem Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH) e termelétricas movidas a biomassa.

Estão localizados principalmente na região Norte: nos Estados de Amazonas, Roraima, Acre, Amapá e Rondônia. São assim denominados por não estarem interligados ao SIN e por não permitirem o intercâmbio de energia elétrica com outras regiões, em função das peculiaridades geográficas da região em que estão instalados. Segundo dados da Eletrobrás, eles atendem a uma área de 45% do território brasileiro e a cerca de 3% da população nacional – aproximadamente 1,3 milhão de consumidores espalhados por 380 localidades. Em 2008, respondem por 3,4% da energia elétrica produzida no país.

## **7. Análise Comparativa dos Sistemas Estudados**

Em conjunto com outros custos e despesas tais como pessoal, encargos, veículos, cobrança etc., levando em conta também a estrutura territorial da abrangência de atendimento da concessionária e as distâncias reais dos consumidores à rede elétrica existente, pode ser calculado a competitividade dos sistemas fotovoltaicos em comparação a rede comum.

Esta comparação não é simples, apenas depois de profundas análises econômicas da estrutura da concessionária e social do usuário são determinantes para que os Sistemas Fotovoltaicos sejam aceitos por ambas as partes. Por exemplo, utilizou-se como referência, os estudos realizados pela COELBA, uma das poucas concessionárias que adotaram a energia solar não somente como medida em situações sem recursos alternativos, mas comprovou a partir de análises e implementações que os Sistemas Fotovoltaicos podem ser uma solução até economicamente viável em comparação da rede comum.

Para um número de 9000 ligações na área rural do interior da Bahia, por exemplo, foi feito um estudo exaustivo de comparação de sistemas SIGFI com a da rede comum. Para um período de 25 anos, o custo dos sistemas individuais de energia solar é aproximadamente 4 vezes menor do que o da rede comum, considerando todos os parâmetros econômicos de depreciação, manutenção e operação de ambos os sistemas.

Mas, isto não significa que sempre é assim em todos os casos. Em algumas instalações particulares aplicam-se outros parâmetros, até não econômicos: o cliente quer a sua energia limpa e “verde” e não está interessado em economizar dinheiro; o cliente necessita de uma demanda grande de potência, pois na sua propriedade ele possui um grande sistema de irrigação além de duas grandes máquinas forrageiras.

Porém em muitas situações, não existe outra solução para o uso de energia a não ser a energia solar, tais como em localidades de extrema dificuldade de acesso como ilhas com pequeno povoado, casas isoladas no alto de montanhas, consumidores distribuídos ao longo de uma grande área de extensão territorial.

O método convencional é mais vantajoso quando a instalação for feita numa localização onde exista uma vila ou residências isoladas, próximas a linhas de distribuição pré-existentes. Caso contrário terá um custo de instalação elevado. A seguir, na tabela 6 é possível ver um comparativo de custos versus distância para o método convencional, realizado pela COELBA.

A tabela 6 abaixo, informa os custos referentes à instalação de energia elétrica de consumidores da zona rural através do método convencional de distribuição de energia, seguida da figura 24, onde a qual revela uma curva referente a tabela 6.

**Tabela 6 - Custo referente à instalação método convencional. FONTE COELBA.**

QTDE	TOTAL CONSUMIDORES	VALOR TOTAL	FAIXA	MÉDIA CONSUMIDORES
1.514	4.694	R\$ 16.946.892,59	0 a 0,5 km	R\$ 3.610,33
570	3.682	R\$ 14.124.078,98	0,5 a 1 km	R\$ 3.835,98
825	7.543	R\$ 33.086.014,67	1 a 2 km	R\$ 4.386,32
670	8.056	R\$ 40.558.717,57	2 a 3 km	R\$ 5.034,60
1.048	16.918	R\$ 93.402.228,68	3 a 5 km	R\$ 5.520,88
866	19.046	R\$ 109.269.415,58	5 a 7 km	R\$ 5.737,13
739	20.395	R\$ 122.810.505,90	7 a 9 km	R\$ 6.021,60
996	35.660	R\$ 218.140.480,99	9 a 13 km	R\$ 6.117,23
771	35.304	R\$ 238.052.475,27	13 a 18 km	R\$ 6.742,93
1.056	81.946	R\$ 657.881.504,32	> 18 km	R\$ 8.028,23
<b>9.055</b>	<b>233.244</b>	<b>R\$ 1.544.272.314,55</b>		<b>R\$ 6.620,84</b>

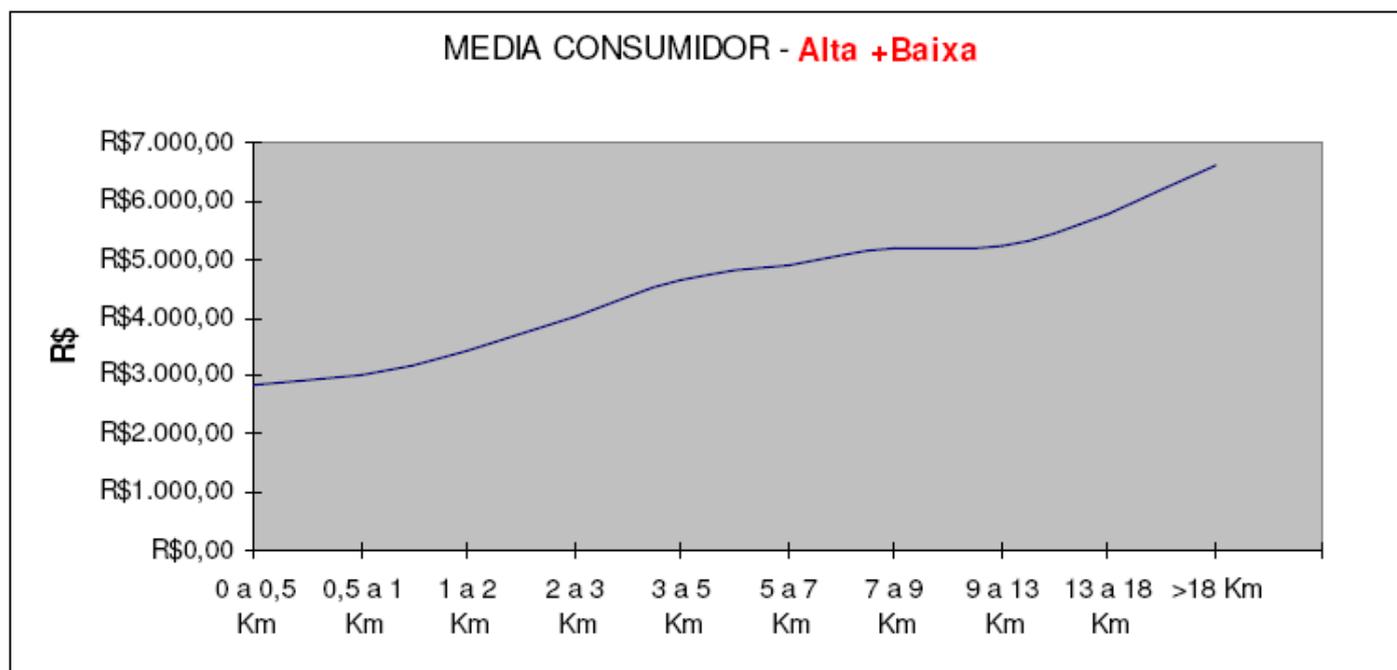


Fig. 24 - Custo referente à instalação método convencional, a partir da Tabela 6. FONTE COELBA.

## **8. Conclusão**

Após sua validação, pôde-se constatar que o programa Luz Para Todos pode vir a ser uma ferramenta útil no processo do desenvolvimento do Brasil. Após estudos e análises econômicas e funcionais de sistemas fotovoltaicos em nosso país, favorecerá outra grande parte da população que vive em áreas isoladas e não dispõe de qualquer meio de fornecimento energético, principalmente na região norte, onde a irradiação favorece este tipo de geração energética.

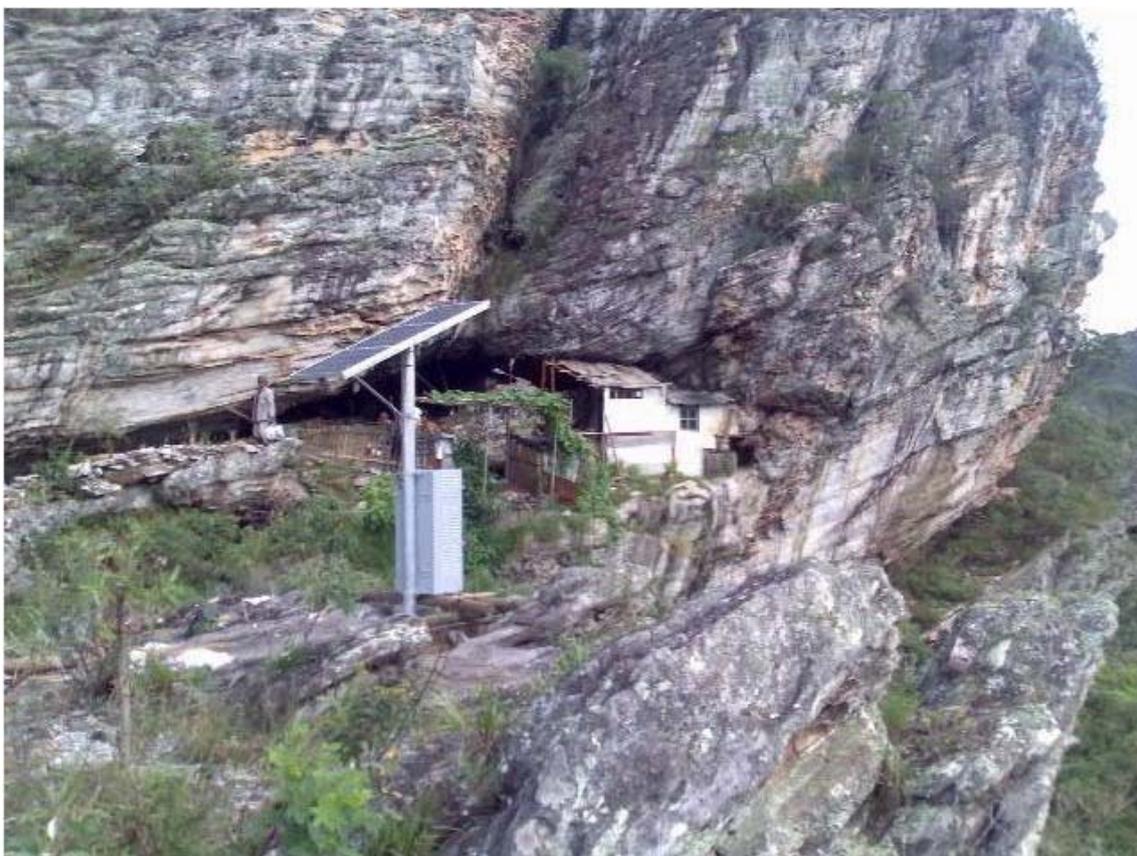
É importante mencionar que, graças ao avanço tecnológico e a concorrência entre as fábricas de painéis solares, este tipo de sistema tornar-se cada vez mais comum.

No entanto o projeto como atualmente é implementado, ainda prevalece o uso do método convencional para instalação de energia elétrica. É sabido que as perdas elétricas (irradiação solar das linhas de transmissão, defeitos em isoladores causando superaquecimentos pontuais, perdas nos transformadores, etc) são comuns em linhas de transmissões, e principalmente aquelas muito afastadas dos grandes centros onde as quais recebem manutenções de forma restrita, isso tudo gera um alto custo financeiro, mesmo assim a maioria das concessionárias ainda não se adaptaram ao método de Sistemas Fotovoltaicos.

## 9. Referências Bibliográficas

- Jörgdieter Anhalt, IDER - Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Energias Renováveis. Disponível em [www.ider.org.br](http://www.ider.org.br). Acesso em: 08 de novembro de 2008;
- Atlas de energia elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica. 3. ed. – Brasília : Aneel, 2008;
- Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil) (ANEEL). Biblioteca virtual. Disponível em <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 24 de janeiro de 2009;
- Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) – disponível em [www.ccee.org.br](http://www.ccee.org.br). Acesso em: 08 de novembro de 2008;
- Centrais Elétricas Brasileiras (Eletrobrás) – disponível em [www.eletrobras.gov.br](http://www.eletrobras.gov.br). Acesso em: 12 de fevereiro de 2009;
- Empresa de Pesquisa Energética (EPE) – disponível em [www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br). Acesso em: 28 de janeiro de 2009;
- Ministério de Minas e Energia (MME) – disponível em [www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br). Acesso em: 08 de novembro de 2008;
- Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) – disponível em [www.ons.org.br](http://www.ons.org.br). Acesso em: 08 de novembro de 2008;
- [www.sunlab.com.br](http://www.sunlab.com.br). Acesso em 29/01/2009;
- [www.KYOCERA.com.br](http://www.KYOCERA.com.br). Acesso em 19/09/2008;
- A GUIDE TO PHOTOVOLTAIC (PV) SYSTEM DESIGN AND INSTALLATION  
Prepared for: California Energy Commission Energy Technology Development Division. Prepared by: Endecon Engineering, Version 1.0 - June 14, 2001 - disponível em [www.energy.ca.gov](http://www.energy.ca.gov). Acesso em: 15 de setembro de 2008.
- Materiais (apostilas) cedidos pelo Professor Orientador Leimar de Oliveira.

## ANEXO



**Painéis coletores solares no alto de uma Montanha na Bahia. Fonte Kiocera do Brasil.**



**Ligação convencional de energia no interior da Bahia. Fonte Hugo Machado.**