



**CLÁZIA RAMAYANA FREITAS DE CARVALHO**

**SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO: UMA  
APLICAÇÃO PRÁTICA NO PROJETO XAPURI**

**LAVRAS - MG**

**2013**

**CLÁZIA RAMAYANA FREITAS DE CARVALHO**

**SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO: UMA  
APLICAÇÃO PRÁTICA NO PROJETO XAPURI**

Monografia apresentada à  
Universidade Federal de Lavras,  
como parte das exigências do Curso  
de Pós-Graduação *Latu Sensu* em  
Formas Alternativas de Energia, para  
obtenção do título de Especialista em  
Formas Alternativas de Energia.

Orientador

Prof. Carlos Alberto Alvarenga

**LAVRAS - MG**

**2013**

**CLÁSIA RAMAYANA FREITAS DE CARVALHO**

**SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO: UMA  
APLICAÇÃO PRÁTICA NO PROJETO XAPURI**

Monografia apresentada à  
Universidade Federal de Lavras,  
como parte das exigências do Curso  
de Pós-Graduação *Latu Sensu* em  
Formas Alternativas de Energia, para  
obtenção do título de Especialista em  
Formas Alternativas de Energia.

APROVADA em.....de.....2013

Prof.Dr. \_\_\_\_\_ (UFLA)

Prof. Dr. \_\_\_\_\_ (UFLA)

Prof. Carlos Alberto Alvarenga

(Orientador)

**LAVRAS – MG**

**2013**

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, razão de nossa existência fonte de sabedoria, amor e paz.

A minha família e amigos que mantém acesa em nossas vidas a chama do bem-estar, do amor e da alegria.

À Universidade Federal de Lavras, pelo curso de Pós-Graduação ofertado.

Ao coordenador do curso e orientador, Dr. Gilmar Tavares, pela orientação e carinho dedicados ao curso.

Ao professor orientador Carlos Alberto Alvarenga, pelas orientações, presteza e dedicação.

Aos demais professores e funcionários que estiveram conosco nessa caminhada.

Aos colegas do curso FAE, pela troca de experiências e pela alegria de estarmos juntos, embora distantes fisicamente.

## **RESUMO**

A energia solar fotovoltaica configura-se como uma alternativa de qualidade consolidada e tecnologia relativamente simples à inserção da eletricidade em áreas que dificilmente seriam atendidas pela distribuição convencional de energia. A captação dos raios solares e o armazenamento de energia permitem a utilização de equipamentos, bem como melhoria na qualidade de vida de muitas pessoas. Tendo em vista a universalização dos serviços de energia, alguns decretos e leis foram aprovados para regulamentar essa questão. Nesse contexto, o Programa Luz para Todos fornece a possibilidade de concretizar essa meta, como também os subsídios financeiros necessários para execução de tais projetos. Através de iniciativas como o Projeto Piloto Xapuri, realizado em três comunidades seringueiras no Estado do Acre, pertencentes ao município que inspirara o nome do projeto, pôde-se ter uma vivência das dificuldades e dos pontos a serem revisados quanto à instalação dos sistemas isolados de geração fotovoltaica.

Palavras-chave: Energia Solar. Universalização dos serviços. Sistemas Isolados. Projeto Xapuri.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Composição do espectro da radiação solar .....  | 14 |
| Figura 2 - Sensor de radiação solar utilizado no<br>cálculo da irradiância da luz sol.....   | 18 |
| Figura 3 - Mapa de insolação do território brasileiro .....  | 19 |
| Figura 4 - O eixo de rotação da Terra é inclinado com<br>relação ao eixo da órbita elíptica em torno do Sol<br>(movimento de translação) ..... | 20 |
| Figura 5 - Movimento aparente do sol e<br>posicionamento a ser definido através dos ângulos<br>azimutal, zenital e altura solar .....          | 21 |
| Figura 6 - Estação autônoma de recarga de veículos<br>elétricos alimentada por módulos fotovoltaicos .....                                     | 22 |
| Figura 7 - Componentes de um sistema de geração<br>fotovoltaica em CC e CA.....  | 23 |
| Figura 8 - Os tipos de módulos fotovoltaicos mais<br>utilizados .....  | 24 |
| Figura 9 - Etapas de produção do módulo<br>fotovoltaico a partir do silício cristalino .....   | 25 |
| Figura 10- Ondas senoidal pura, quadrada (em roxo)<br>e modificada (em azul) .....   | 28 |
| Figura 11- Representação unifilar do sistema CA .....  | 31 |
| Figura 12 - Representação unifilar do sistema misto<br>CC + CA .....   | 31 |
| Figura 13 - Quadro de controle instalado na<br>comunidade seringueira de Dois Irmãos.....  | 32 |
| Figura 14 - Representação unifilar do sistema CC .....   | 32 |
| Figura 15 - Posicionamento dos SAADs .....   | 35 |
| Figura 16 - Painel fotovoltaico e sensor de radiação acoplado.....   | 36 |
| Figura 17 - Perfil de consumo dos 14 usuários analisados em Albrácea .....   | 39 |

## **LISTA DE TABELAS**

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Classificação e disponibilidade de atendimento .....                         | 12 |
| Tabela 2 - Sistemas de Atendimento do Projeto Piloto de Xapuri .....                    | 30 |
| Tabela 3 - Distribuição dos equipamentos elétricos que a família gostaria de comprar .. | 37 |

## SUMÁRIO

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                      | <b>8</b>  |
| <b>2</b> | <b>UNIVERSALIZAÇÃO DOS SERVIÇOS DE ENERGIA.....</b>          | <b>10</b> |
| 2.1      | A Resolução Normativa N° 083/04 da Aneel .....               | 11        |
| <b>3</b> | <b>ENERGIA FOTOVOLTAICA.....</b>                             | <b>13</b> |
| 3.1      | Radiação Solar .....   | 13        |
| 3.1.1    | Massas de Ar .....   | 16        |
| 3.2      | Irradiância .....  | 17        |
| 3.3      | Insolação .....  | 18        |
| 3.4      | Instalação de Módulos Solares.....                           | 19        |
| <b>4</b> | <b>SISTEMA FOTOVOLTAICO DE GERAÇÃO AUTÔNOMA .....</b>        | <b>21</b> |
| 4.1      | Componentes de um Sistema Fotovoltaico Autônomo .....        | 22        |
| 4.1.1    | Placas Fotovoltaicas .....                                   | 23        |
| a)       | <i>Silício Monocristalino</i> .....                          | 24        |
| b)       | <i>Silício Policristalino</i> .....                          | 25        |
| c)       | <i>Filmes Finos</i> .....                                    | 25        |
| 4.1.2    | Controladores de Carga .....                                 | 26        |
| 4.1.3    | Bateria .....  | 26        |
| 4.1.4    | Inversor .....   | 28        |
| 4.2      | A Viabilidade da Tecnologia Fotovoltaica.....                | 29        |
| <b>5</b> | <b>A EXPERIÊNCIA DO PROJETO XAPURI – AC .....</b>            | <b>29</b> |
| 5.1      | Esquema dos Sistemas Instalados Nos Seringais .....          | 31        |
| 5.2      | Modelo de Gestão .....                                       | 33        |
| 5.3      | Monitoramento dos Sistemas Instalados no Projeto Xapuri..... | 34        |
| 5.3.1    | Monitoramento Técnico .....                                  | 34        |
| 5.3.2    | Monitoramento por Pesquisa de satisfação .....               | 36        |
| 5.4      | Resultados do Projeto.....                                   | 41        |
| <b>6</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                             | <b>42</b> |
| <b>7</b> | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                      | <b>44</b> |
| <b>8</b> | <b>ANEXOS .....</b>  | <b>45</b> |



## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o Brasil tem concentrado alguns esforços no desenvolvimento de estudos para aproveitamento do potencial energético fotovoltaico. Nesse sentido, a disponibilidade de radiação solar em território brasileiro fora estimada através do Atlas Solarimétrico Brasileiro (2000) e do Atlas de Irradiação Solar no Brasil (1998). Mais recentemente, em 2006, o INEP publicou, no Brasil, o Projeto SWERA (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*), o Atlas Brasileiro de Energia Solar onde se percebe, claramente, que as maiores médias anuais de irradiação encontram-se no semi-árido nordestino, embora as demais regiões, com menores taxas, disponham de grande potencial de aproveitamento energético.

A geração de energia elétrica através de células fotovoltaicas tem contribuído, ainda que de forma muito tímida, para a universalização do acesso à eletricidade através de alguns projetos que visam o atendimento a comunidades isoladas que dificilmente seriam contempladas por rede de transmissão de uma concessionária local. O PRODEEM (Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios) e LPT (Luz Para Todos) configuram-se como iniciativas do Governo Federal no sentido de suprir as demandas de energia das comunidades rurais. Ainda assim, a resolução Normativa nº 83/2004 da ANEEL regulamentou o uso dos Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes (SIGFI's). Desse modo, as concessionárias distribuidoras de eletricidade tiveram que elaborar um plano de atendimento e acompanhamento operacional e de manutenção para a disseminação dos Sistemas Fotovoltaicos Domiciliares (SFD). Nesse contexto, o Projeto Piloto de Xapuri, resultado de uma parceria entre a ELETROACRE (Companhia de Eletricidade do Acre) e ELETROBRÁS, instalou 103 sistemas fotovoltaicos de geração de energia elétrica em três seringais da Reserva Chico Mendes situada no município de Xapuri.

Este trabalho visa demonstrar, bem como disseminar, o resultado

adquirido através da implantação dos SIGFI's pela ELETROACRE de modo que iniciativas como essas, ao considerar as singularidades, sirvam de parâmetro para outras realidades. Para tanto, buscou-se descrever alguns aspectos da tecnologia fotovoltaica implementados nessa experiência, como também os equipamentos utilizados. Inicialmente, enfatizar-se-á as primeiras ações relacionadas à universalização dos serviços de energia da Resolução Nº 083 da ANEEL e dos SIGFI's, tendo em vista a parceria entre Governo e concessionárias no sentido de fomentar o uso da tecnologia solar na eletrificação rural com o propósito de melhorar a qualidade de vida de pessoas cujas residências se encontram distantes dos pontos de distribuição da rede elétrica convencional. No corpo de ideias, abordar-se-á sobre a energia solar dos Sistemas Fotovoltaicos Autônomos, demonstrando sua aplicabilidade, bem como sua estrutura e processo de funcionamento. Por fim, o terceiro enfoque dar-se-á na experiência realizada no município de Xapuri - AC cuja base de informações é bastante relevante para aprimoramento da universalização dos serviços de energia elétrica.

## **2 UNIVERSALIZAÇÃO DOS SERVIÇOS DE ENERGIA**

A lei 10.438/2002 que trata da universalização dos serviços de energia obrigou as concessionárias de distribuição a atender todos os moradores, situados na sua área de concessão. Nesse contexto, o decreto de nº 4.873 de 11 de novembro de 2003 instituiu o programa Luz Para Todos (LPT) cuja meta inicial era levar energia elétrica a pessoas do meio rural até 2008. Sabe-se que esse Programa, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), conta com o apoio operacional da ELETROBRÁS. Sendo executado, portanto, pelas concessionárias de distribuição e cooperativas de eletrificação rural em parceria com os governos estaduais. Além disso, também é escopo do LPT transformar a energia em um vetor de desenvolvimento social econômico, contribuindo para o aumento da renda familiar e a consequente redução da pobreza. Entende-se que a chegada dos serviços de energia elétrica permite a integração dos programas sociais do governo ao passo que possibilita o acesso à saúde, educação, abastecimento de água e saneamento.

Diante da grande demanda por energia, o prazo de execução das atividades do LPT foi estendido, num primeiro momento, até o início de 2011. Entretanto, informações do IBGE, resultantes do censo de 2010, diagnosticaram a inexistência dos serviços de energia elétrica em muitas casas das regiões Norte e Nordeste do país. Como reflexo disso, instituiu-se o decreto nº 7.520/2011 que estabeleceu uma nova fase de execução do programa de 2011 a 2014. Nesse momento, deverão ser contemplados os cidadãos participantes do “Plano Brasil sem Miséria” e no “Programa Territórios da Cidadania”, bem como aqueles estabelecidos em antigos quilombos, assentamento de reforma agrária, em regiões afetadas pela construção de usinas hidroelétricas e outros situados em regiões de elevado impacto tarifário.

Sabe-se que a maioria das casas situadas no raio de exclusão da energia elétrica encontra-se em regiões remotas e de acesso difícil. O

atendimento a essas áreas isoladas representa um grande desafio para as concessionárias. Diante disso, o Ministério de Minas e Energia elaborou o Manual de Projetos Especiais através do qual foram estabelecidos procedimentos, critérios técnicos e financeiros a serem observados durante a elaboração dos projetos, além de conter as atribuições das partes envolvidas nestas iniciativas, a saber: MME, ELETROBRÁS, Agente Executor, Coordenações Regionais e CGE. Assim, os Projetos Especiais tratam dos projetos de eletrificação rural que priorizem ações sustentáveis e de mitigação de impacto ambiental, bem como a utilização de fontes renováveis. Quanto aos recursos necessários para o desenvolvimento dessas iniciativas, sabe-se que 85% advém de subvenção econômica e os 15% restantes são por conta do agente executor.

## **2.1 A RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 083/04 DA ANEEL**

Como ações da universalização do acesso à eletricidade, o governo federal, por meio da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), aprovou a Resolução Normativa nº 083, de 20 de setembro de 2004, que regulamentou a utilização dos Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes (SIGFI's). A utilização dos SIGFI's revelou-se uma alternativa a universalização dos serviços de energia elétrica no meio rural, tendo em vista que grande parte das residências não conectadas a malha elétrica encontra-se em regiões de difícil acesso ou em locais cuja instalação de linhas de distribuição de energia é economicamente desinteressante às concessionárias. Desse modo, conforme disposto no art. 2, inciso XV, conceitua-se SIGFI's como

sistema de geração de energia elétrica implantado por concessionária ou permissionária de distribuição de energia elétrica, utilizando exclusivamente fonte de energia intermitente, para o fornecimento a unidade consumidora única, constituído basicamente de um sistema de geração, um sistema de acumulação e um

sistema condicionador (ANEEL, 2004)

No que tange a implantação do SIGFI, a resolução estabelece que o atendimento a uma unidade consumidora deve enquadrar-se em uma das classes que se seguem: SIGFI13, SIGFI30, SIGFI45, SIGFI60 e SIGFI80.

Tabela 1 Classificação e disponibilidade de atendimento

| <b>Classes 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: ANEEL (2004)

A disponibilidade mensal de 13kWh, posta na Tabela 1, possibilita a utilização de lâmpadas e pequenos aparelhos domésticos, tais como rádio AM/FM, ventilador e pequeno aparelho de TV, por 1 a 4 horas por dia dependendo do uso conjunto que se faça. Não é possível utilizar geladeiras no SIGFI 13 e no 30. Neste último caso, há modelos de refrigeradores de uma porta que consomem mensalmente pouco mais de 20kWh, porém comprometeria bastante o uso dos demais usos finais (JANNUZZI; VARELLA; GOMES, 2009).

No que concerne às obrigações, as concessionárias também devem seguir outros procedimentos quanto aos SIGFI's instalados, a saber: o fornecimento de energia elétrica deverá ser em corrente alternada senoidal; a Disponibilidade Mensal Garantida poderá ser superior a 80 kWh se assegurada uma autonomia mínima do sistema de dois dias; todos os componentes do SIGFI serão instalados, fornecidos e estarão sob cuidados das concessionárias. Além disso, os componentes devem enquadrar-se em normas expedidas por órgãos oficiais competentes - IMETRO e

CONMETRO (ANEEL, 2004).

A qualidade do serviço será apurada, para tanto, há um indicador de continuidade ,o DIC (Duração de Interrupção por Unidade Consumidora), que aponta uma média, geralmente mensal, da quantidade de horas que um consumidor permanecerá sem energia elétrica. Além disso, semestralmente, a concessionária, enviará um relatório estatístico contendo o desempenho do SIFGI, bem como o número de reclamações recebidas no período, a frequência de falhas por componente do sistema, e quantidade unidades instaladas por tipo de SIGFI e fonte primária.

### **3 ENERGIA FOTOVOLTAICA**

A energia elétrica obtida por fonte solar é resultado da conversão direta da luz solar em eletricidade por meio do efeito fotovoltaico: os sistemas fotovoltaicos captam diretamente a radiação solar, produzindo corrente elétrica. Essa corrente pode ser utilizada em sistemas conectados diretamente à rede elétrica ou armazenada em baterias. Sabe-se que a energia solar é uma fonte cujo uso mais cresce no mundo e pode ser utilizada tanto em locais remotos, como única possibilidade de eletrificação, quanto de maneira complementar e paralela a rede pública. Desse modo, os painéis fotovoltaicos podem ser instalados em imóveis de um modo geral atendendo pequenas demandas de eletricidade, ou ainda, na geração em larga escala através de usinas geradoras.

#### **3.1 RADIAÇÃO SOLAR**

A radiação solar é formada de ondas eletromagnéticas com frequências e comprimentos de ondas diferentes que chegam a Terra por meio do espaço extraterrestre. Sabe-se que frequência e comprimento de onda são grandezas inversamente proporcionais, entretanto energia e frequência se relacionam de forma direta.

Nesse sentido, a equação de Plank-Einstein estabelece uma relação entre frequência e energia, de uma onda eletromagnética, através da expressão

$$E = h \cdot f \quad (1)$$

em que  $E$  expressa a energia da onda em joules (J) ou elétrons-volt (eV),  $f$  a frequência expressa em hertz (Hz) e o  $h$  representa a constante de Planck cujo valor é 6,636. (J.s).

Sabe-se que a luz é uma onda eletromagnética que se desloca no vácuo do espaço a uma velocidade constante de 300.000 km/s, aproximadamente, e relaciona-se com a frequência e o comprimento de onda através da fórmula matemática

$$c = \lambda \cdot f \quad (2)$$

sendo  $c$  a velocidade da luz no vácuo,  $\lambda$  o comprimento de onda e  $f$  a frequência da onda em hertz.

Nem toda luz emitida pelo sol é visível a olho humano, mas pode ser detectada de outras formas: em um feixe de luz solar existe diferentes frequências de ondas eletromagnéticas cujo conjunto denomina-se espectro de radiação solar.

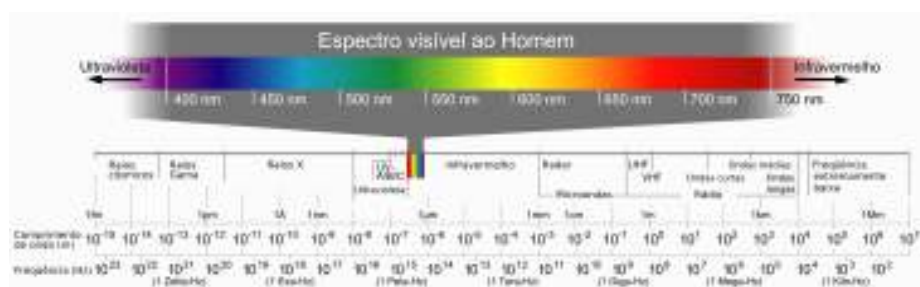


Figura 1 Composição do espectro da radiação solar  
Fonte: Meteoropole (2012)

No espectro, encontram-se tanto as ondas visíveis ao olho humano quanto as invisíveis; nele, a energia é transportada e pode ser absorvida na forma de calor ou energia elétrica. A gama de radiações perceptível ao olho humano abrange valores de comprimentos de onda entre 0,38 e 0,78  $\mu\text{m}$  (milionésimo de metro –  $1 \times 10^{-6}$ ).

[...]No espaço terrestre, antes de atingir a atmosfera, a radiação solar é composta aproximadamente de 53% de radiação invisível – com uma pequena parcela de luz infravermelha e uma grande parcela de luz ultravioleta – e 47% de luz visível. A luz visível, que pode ser captada pelo olho humano, é a parte do espectro que podemos enxergar e é a mesma utilizada pelas plantas para a realização da fotossíntese [...] (VILLALVA; GAZOLI, 2012, p. 40).

A energia eletromagnética é transformada em energia térmica através da captação do calor. Deste modo, quando as ondas eletromagnéticas encontram uma superfície com capacidade de absorção de radiação, a energia eletromagnética é convertida em energia cinética que, por sua vez, transmite calor (energia térmica) aos átomos e moléculas do material. Assim, a temperatura de um corpo está relacionada ao grau de agitação das moléculas que o compõem; portanto, a presença da energia térmica, em maior ou menor escala, influenciará na movimentação dos átomos e moléculas de um corpo. Por outro lado, ao incidirem sobre determinados materiais, as ondas eletromagnéticas podem desencadear mudanças nas propriedades elétricas ou gerar tensões e correntes elétricas.

A radiação eletromagnética produz, ainda, efeitos elétricos tais como o efeito fotovoltaico e fotoelétrico. Embora o efeito fotoelétrico esteja relacionado ao fotovoltaico, cada um destes ocorre de forma diferente. Nos sistemas de geração de energia solar, o efeito fotovoltaico, através da diferença de potencial ou uma tensão elétrica, transforma a radiação eletromagnética do Sol em energia elétrica ao incidir sobre uma célula



sanduíche de materiais semicondutores.

### 3.1.1 MASSAS DE AR

Conceitua-se como massas de ar a porção individualizada do ar atmosférico cujas características e propriedades representam as condições gerais do tempo de onde são formadas. Deslocam-se, portanto, a partir da diferença de pressão entre e temperatura das diversas áreas da superfície.

Quando a radiação solar atravessa a atmosfera sofre diversas alterações ocasionadas por fatores, tais como: vapor de água, ar, partículas em suspensão, sujidade, dentre outros. Deste modo, ao incidirem na atmosfera terrestre, a radiação solar pode percorrer um percurso maior ou menor na massa de ar: esse trajeto será determinado pelo ângulo de incidência dos raios solares (ângulo zenital) em relação à linha do zênite. Conforme VILLALVA; GAZOLI(2012, p. 42), “a espessura da massa de ar atravessada pelos raios solares na atmosfera depende do ângulo zenital do Sol”. O cálculo da massa de ar, conhecida pela sigla AM (*Air Mass*), é elaborado a partir da fórmula

$$AM = \frac{1}{\cos \theta_z} \quad (3)$$

Sabe-se que fatores como localização geográfica, hora do dia, dia do ano, condições climáticas, composição da atmosfera, altitude e outros interferem na distribuição da energia do espectro de radiação. Sendo assim, cada região do planeta apresenta um perfil diferente de radiação quando esta atravessa a atmosfera. Países situados na zona tropical, entre os trópicos de Câncer e Capricórnio, sofrem interferências reduzidas das massas de ar, já que os raios solares incidem com ângulos azimutais menores. Isto explica o fato das regiões tropicais serem mais iluminadas e quentes que as demais partes do planeta. A distribuição espectral AM1,5 refere-se ao

comportamento médio anual da radiação solar em países localizados entre os trópicos de Câncer e o círculo ártico. Por ter surgido em países temperados, a tecnologia fotovoltaica tem como referência a massa de ar AM1,5 valor este encontrado na maioria dos catálogos de fabricantes de células e módulos fotovoltaicos.

### 3.2 IRRADIÂNCIA

A irradiância, também chamada de irradiação, é uma grandeza que mensura a potência da radiação solar em uma determinada área através da unidade  $W/m^2$  (watt por metro quadrado). Considera-se potência como a grandeza que expressa a energia transportada durante um certo intervalo de tempo; assim, quanto maior a potência da radiação solar, maior é a quantidade de energia transportada em um dado instante de tempo.

A irradiância é medida através de sensores de radiação solar. Sabe-se que na superfície da Terra, registra-se cerca de  $1000W/m^2$  de potência – valor adotado como padrão na indústria fotovoltaica – entretanto no espaço sideral, entre o Sol e a Terra, estima-se que irradiância solar seja de, aproximadamente,  $1353W/m^2$ . O cálculo da irradiância em  $W/m^2$  configura-se como uma importante ferramenta na avaliação da eficiência dos dispositivos e sistemas fotovoltaicos, servindo, ainda, de parâmetro de teste da qualidade das células e módulos fotovoltaicos fornecidas pelos fabricantes. Por meio de um sensor de armazenamento, obtêm-se a irradiância de um dia dado que permite calcular a quantidade diária de energia que uma área recebera do Sol. Através do mesmo , computa-se a energia solar recebida ao longo de uma semana, um mês ou um ano.



Figura 2 Sensor de radiação solar utilizado no cálculo da irradiância da luz solar  
Fonte: Esolar (2008)

### 3.3 INSOLAÇÃO

Denomina-se insolação a medida expressa, em unidade de  $\text{Wh/m}^2$  (watt-hora por metro quadrado), referente a energia solar que incide sobre uma área de superfície plana num dado intervalo de tempo.

Os dados práticos de insolação são utilizados no dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos e estão disponibilizados em mapas de insolação ou através de ferramentas como a calculadora solar. O mapa de insolação contém o valor da energia do Sol, recebida diariamente por metro quadrado nas diversas regiões brasileiras. Neste sentido, o Atlas de Energia Elétrica do Brasil, publicado pela ANEEL, em 2005, dispõe valores de insolações que variam de 4500 a 6100  $\text{Wh/m}^2$ .

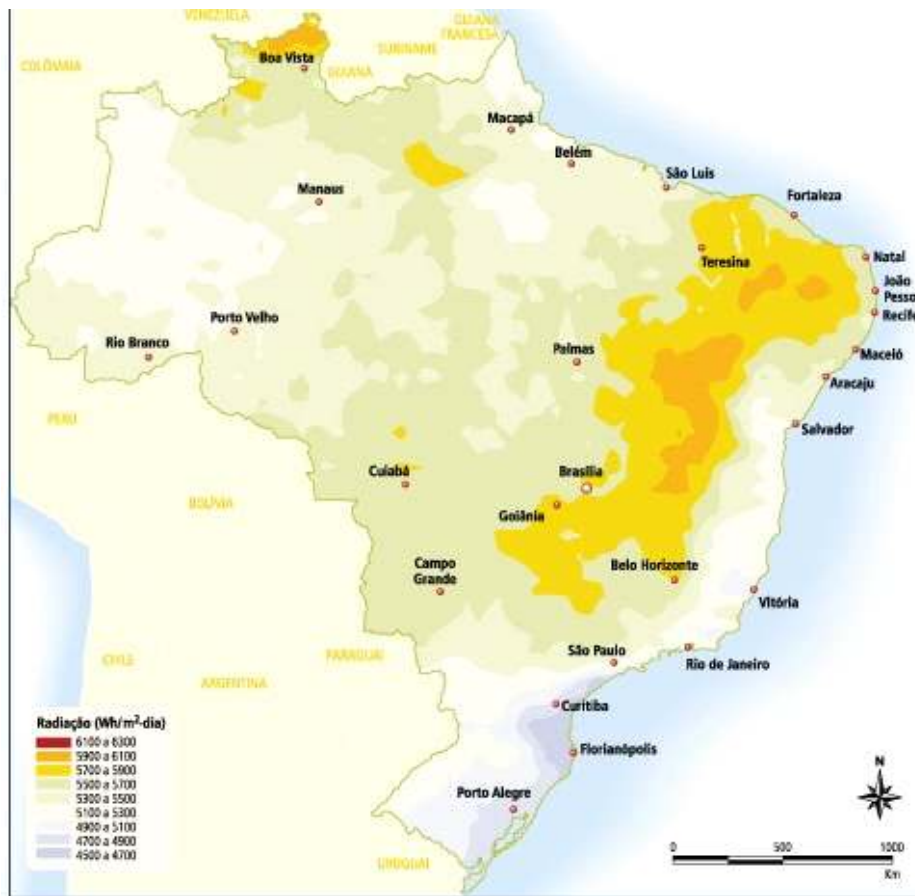


Figura 3 Mapa de insolação do território brasileiro  
Fonte: ANEEL (2002)

Ainda assim, a calculadora solar mostra, por meio de um gráfico, a média mensal e anual da insolação de um dado local, devendo ser utilizada para efetuar com precisão o dimensionamento de um sistema fotovoltaico.

### 3.4 INSTALAÇÃO DE MÓDULOS SOLARES

Durante a instalação de módulos solares, algumas variáveis devem ser observadas para melhor aproveitamento da captação dos raios solares. Devem ser considerados, portanto, a inclinação do eixo de rotação da Terra, o ângulo da altura solar, o ângulo de inclinação dos módulos e o ângulo

azimutal do Sol. Assim, enquanto descreve uma trajetória elíptica em torno do Sol, conhecida por movimento de translação; concomitantemente, a Terra gira em torno do seu próprio eixo, desenvolvendo um movimento de rotação. A inclinação do eixo de rotação da Terra, em relação à órbita elíptica em torno do Sol, forma um ângulo de  $23,5^\circ$ , aproximadamente, e determina as estações do ano a depender da posição do planeta em sua trajetória de translação.



Figura 4 O eixo de rotação da Terra é inclinado com relação ao eixo da órbita elíptica em torno do Sol (movimento de translação)  
Fonte: NOVA ESCOLA (2005)

O ângulo da altura solar é determinado a partir do ângulo de inclinação da trajetória do sol com o plano horizontal. É influenciado pela localização geográfica, bem como pelo ângulo da declinação solar. Conforme Villalva e Gazoli (2012, p. 56), “a altura do Sol no céu é maior nos dias de verão, o que significa que nessa época os raios solares incidem sobre a cabeça do observador com um ângulo azimutal menor, percorrendo uma massa de ar reduzida”. No inverno, acontece o contrário, a altura do Sol no céu é menor, ângulo azimutal é maior e as massas de ar também.

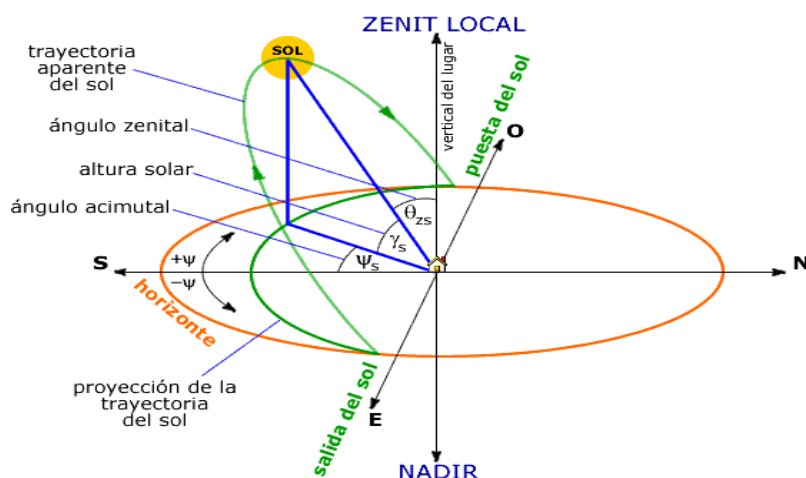


Figura 5 Movimento aparente do sol e posicionamento a ser definido através dos ângulos azimutal, zenital e altura solar  
 Fonte: UJAEN (2005)

Algumas regras devem ser observadas durante a instalação de um módulo solar. A primeira delas refere-se à orientação do equipamento que deve estar voltado para o norte geográfico; uma segunda observação deve ser feita quanto ao ajuste do ângulo de inclinação do módulo em relação ao solo. Este deverá ser escolhido a partir do ângulo da latitude geográfica da localidade onde o sistema será instalado.

#### 4 SISTEMA FOTOVOLTAICO DE GERAÇÃO AUTÔNOMA

Os sistemas fotovoltaicos autônomos ou sistemas isolados são utilizados em lugares onde não há redes elétricas convencionais. No Brasil, há muito desses locais não atendidos por malhas do sistema elétrico nos quais, geralmente, utilizam-se geradores movidos a diesel. Além dessa aplicação, os sistemas autônomos podem ser implementados na iluminação pública, na sinalização de estradas, alimentação de sistemas de telecomunicações, no carregamento de baterias de veículos elétricos, e em outras aplicações que envolvem desde pequenos aparelhos eletrônicos portáteis até sistemas espaciais (VILLALVA; GAZOLI, 2012).



Figura 6 Estação autônoma de recarga de veículos elétricos alimentada por módulos fotovoltaicos

Fonte: Tatmouss/Wikimedia Commons

#### **4.1 COMPONENTES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÔNOMO**

Um Sistema Autônomo de Geração é composto por módulo fotovoltaico, controlador de carga, bateria e inversor de carga caso a eletricidade de tensão e corrente contínua (CC) seja convertida em tensão e corrente alternada (CA).

O módulo fotovoltaico também chamado de painel ou placa fotovoltaica é um conjunto de células agrupadas montadas sobre uma estrutura rígida e conectadas eletricamente. O controlador de carga, utilizado para prolongar a vida útil da bateria, regula a carga advinda da placa fotovoltaica, protegendo a bateria de sobrecargas ou descargas excessivas. A bateria, por sua vez, é responsável por manter o fornecimento constante de energia nos períodos de maior ou menor insolação. O inversor é um dispositivo eletrônico que transforma a eletricidade de tensão e corrente (CC) em tensão e corrente alternadas (CA).

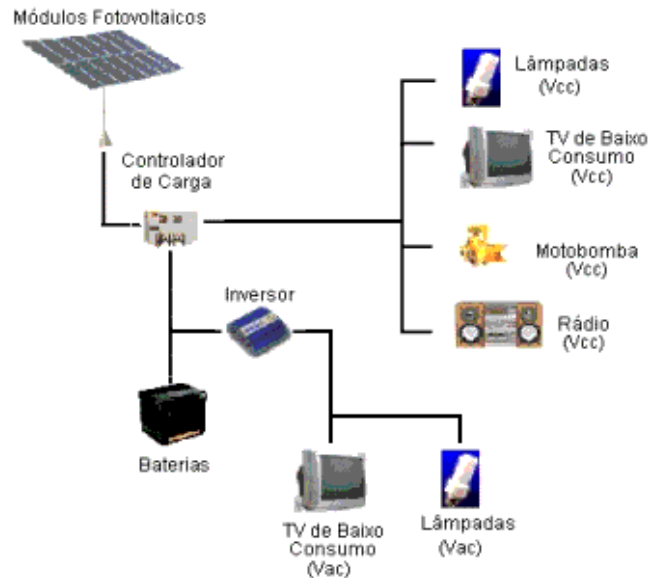


Figura 7 Componentes de um sistema de geração fotovoltaica em CC e CA  
Fonte: Solenerg

#### 4.1.1 PLACAS FOTOVOLTAICAS

Diferentes tecnologias são empregadas na fabricação da célula fotovoltaica que corresponde à unidade do módulo, placa ou painel fotovoltaico. Entretanto, as mais recorrentes são a do silício monocristalino, do silício policristalino e do filme fino de silício.

Sabe-se que o silício presente na célula fotovoltaica é retirado do mineral quartzo que passa por um processo de purificação para a fabricação de células. O Brasil é um dos principais líderes na produção mundial de silício de grau metalúrgico, embora não exista a purificação de silício até o grau solar, em nível comercial, em solo brasileiro (ABINEE, 2012).



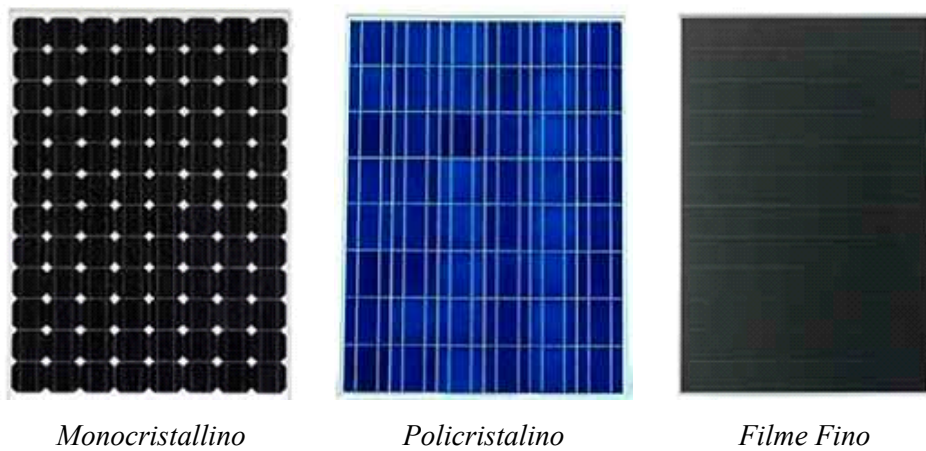


Figura 8 Os tipos de módulos fotovoltaicos mais utilizados  
 Fonte: ABINEE (2012)

*a) Silício Monocristalino*

É obtido a partir do aquecimento, a altas temperaturas, dos blocos de silício ultrapuro, seguido pelo processo de formação de cristal através do método de Czochralski cujo produto final é o lingote de silício monocristalino. A partir da secção e fatiamento desse lingote, de aspecto brilhante e uniforme, são produzidos os *wafers*. Estes, por sua vez, são submetidos a processos químicos e recebem impurezas nos dois lados, constituindo camadas de silício de P (material positivo) e N (material negativo). Por fim, a célula recebe uma película metálica em um dos lados, uma grade metálica e uma camada de material antirreflexivo na outra superfície onde a luz incidirá.

As células de silício monocristalino, na maioria das vezes, apresentam cores azul escuro ou preto. São rígidas e quebradiças, além disso, são as mais eficientes produzidas em nível comercial. No entanto, os custos de produção são maiores que outros tipos de células (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

*b) Silício Policristalino*

Quando equiparadas às células de silício monocristalino, às células fotovoltaicas de cristais de silício policristalino são menos eficientes comercialmente; entretanto, seu custo de fabricação é menor devido o processo de preparação do material ser menos rigoroso. Estas células são peças resultantes de mais de uma formação cristalina, apresentando, portanto, mais imperfeições. São obtidas a partir da fundição e cristalização do lingote de silício de forma direcional em uma câmara através da técnica de Bridgman. Os *wafers* de silício policristalino são a base da indústria fotovoltaica atual (ABINEE, 2012).

*c) Filmes finos*

Tecnologia mais recente aos dos *wafers* de silício cristalino, os filmes finos representam uma alternativa menos custosa, embora sejam menos eficientes de conversão. Para gerar a mesma quantidade de energia que as tecnologias cristalinas, faz-se necessário uma área maior de módulos.

Quanto ao processo de fabricação, os filmes finos são produzidos por meio da deposição de finas camadas de materiais sobre uma base de vidro ou lâmina de aço. A confecção dos filmes finos envolve um menor número de fases e linhas de produção, se equiparados à fabricação do silício cristalino. Neste sentido, a utilização desta tecnologia em células fotovoltaicas tem ocasionado grandes vantagens na otimização do processo de fabricação, já que utiliza menor quantidade de material e requer menos energia na sua técnica de fabricação.



Figura 9 Etapas de produção do módulo fotovoltaico a partir do silício cristalino  
Fonte: ABINEE (2012)

#### 4.1.2. CONTROLADORES DE CARGA

Os controladores são dispositivos eletrônicos operantes em corrente contínua que devem ser utilizados nos sistemas de geração fotovoltaica, evitando sobrecargas ou descargas excessivas da bateria. A ausência do regulador de carga compromete a bateria que será danificada e terá o seu tempo de vida reduzido. Alguns modelos de controlador mais sofisticados dispõem de um recurso titulado de MPPT (Maximum Power Point Tracking – rastreamento do ponto de máxima potência). Através deste aparato, a produção de energia do painel fotovoltaico é melhor aproveitada, aumentando a eficiência do sistema (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Configuram-se como funções do controlador de carga: *proteção de sobrecarga* - o regulador desliga-se da placa solar quando a bateria encontra-se completamente carregada; *proteção de descarga excessiva* – ao atingir um nível baixo de carga, o consumo de energia é interrompido; *gerenciamento da carga da bateria* – os controladores mais sofisticados possuem algoritmos de múltiplos estágios para alimentação da bateria.

#### 4.1.3 BATERIA

Em um sistema autônomo de geração, o uso da bateria permite a linearidade durante o fornecimento de energia, evitando o desperdício de

carga gerada quando o consumo é baixo, ou ainda, armazenando energia quando houver pouca ou nenhuma radiação (à noite, por exemplo). Entretanto, existe outra funcionalidade da bateria, voltada para os sistemas autônomos, que é a estabilização da tensão de saída do módulo fotovoltaico em relação aos demais componentes ou ao inversor eletrônico.

Nos sistemas fotovoltaicos, utilizam-se baterias estacionárias que foram projetadas para aplicações com demandas de armazenamento de energia para a alimentação de equipamentos elétricos e eletrônicos. Além disso, suportam muitos ciclos de descarga e recarga sendo desenvolvidas para ser descarregada completamente várias vezes, condição que não é possível numa bateria automotiva.

Existem diversos tipos de baterias elétricas, embora as mais difundidas sejam as de chumbo ácido, que podem ser de ácido líquido ou em gel. As de níquel cádmio e níquel-metal-hidreto apresentam um custo maior, porém são mais duráveis exigindo pouca manutenção.

A definição “estacionária” e “ciclo profundo” possuem praticamente o mesmo significado quando se trata das baterias de chumbo ácido. Segundo Villalva e Gazoli (Ibid., p. 105), “as baterias estacionárias podem ser utilizadas por um longo período de tempo e pode descarregar até atingir uma porcentagem menor de sua carga máxima sem se danificar.” Ao passo que as ciclo profundo suportam vários ciclos de carga e descarga, além de poderem descarregar-se mais vezes que as outras modalidades de bateria.

A vida útil de uma bateria pode ser influenciada pela temperatura de operação e pelas profundidades de descarga. Sabe-se que ambientes de temperatura controlada contribuem para o aumento da vida útil da bateria, em contrapartida, a elevação da temperatura implica na redução no seu tempo de vida. Conforme Villalva e Gazoli (Ibid., p. 109) “se a bateria for descarregada moderadamente, ela terá uma vida útil maior, podendo ser carregada e descarregada muitas vezes”.

#### 4.1.4 INVERSOR

O inversor é utilizado nos sistemas fotovoltaicos para fornecer corrente alternada aos equipamentos conectados convertendo, deste modo, a corrente contínua produzida pelo painel fotovoltaico ou armazenada na bateria em corrente alternada.

No inversor conecta-se quaisquer aparelhos que normalmente são alimentados pelas redes residenciais de tensão alternada; eletroeletrônicos que utilizam tensão e corrente contínuas podem ser ligados diretamente ao controlador de carga, não sendo necessário o inversor.

Existem três tipos de inversores disponíveis no mercado, os inversores de onda senoidal modificada, os de onda senoidal pura e os inversores de onda quadrada. Os inversores de onda senoidal modificada produzem ondas de formato semi-quadradas na tensão de saída. De acordo com Villalva e Gazoli (Ibid., p. 124), “os inversores de onda senoidal pura são dispositivos que geram tensões com o formato de onda senoidais quase puras, com baixíssima distorção harmônica”. Para tanto, recomenda-se, deste modo, que os inversores de onda quadrada e de onda senoidal modificada sejam utilizados para alimentar equipamentos de baixo custo não sensíveis à distorção de tensão, como os eletrodomésticos, por exemplo.

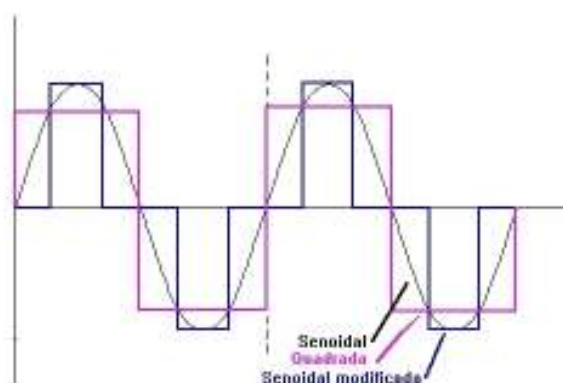


Figura 10 Ondas senoidal pura, quadrada (em roxo) e modificada (em azul)  
Fonte: Marine (adaptado)

## 4.2 A VIABILIDADE DA TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA

Alguns estudos de viabilidade de implantação foram executados antes de iniciar o projeto piloto de Xapuri, tendo em vista a necessidade de avaliar qual fonte energética seria implementada na região ao considerar o isolamento daquelas residências.

Dessa forma, a partir das observações de campo registradas por dois engenheiros, no período de duas semanas, obteve-se um relatório contendo algumas possibilidades de recursos energéticos interessantes àquela realidade. Entretanto, após avaliação, concluiu-se por diversas razões técnicas que a tecnologia fotovoltaica melhor se enquadraria à proposta do projeto piloto por apresentar os seguintes aspectos (ELETROACRE, 2008): *robustez* – os sistemas fotovoltaicos dispensam uma manutenção frequente; *operação automática* – operam de forma direta e intermitente enquanto houver irradiação solar, sem a necessidade de combustível; *modularidade do sistema* – são práticos para o deslocamento podendo ser transportado em partes e possuem montagem descomplicada; *modularidade do dimensionamento* – componentes eletrônicos podem ser substituídos ou adicionados com facilidade; *baixo impacto ambiental* – com ressalvas em relação à bateria que deve ser objeto de cuidado por conter ácido, a tecnologia fotovoltaica praticamente não oferece risco ao meio ambiente.

## 5 A EXPERIÊNCIA DO PROJETO XAPURI - AC

Em junho de 2005, a ELETROBRÁS firmou uma parceria com a GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit) como resultado de um acordo básico de cooperação técnica entre o Governo do Brasil e o Governo da Alemanha no desenvolvimento de um projeto de implantação de fontes renováveis de energia no Norte e Nordeste do Brasil. Através da Resolução Autorizativa nº 927 de maio de 2007, a ANEEL

permitiu a instalação e monitoramento, a título de experiência, de 103 sistemas fotovoltaicos de geração de energia elétrica, pela ELETROACRE no município de Xapuri estado do Acre. Sabe-se que dos 103 locais atendidos pela rede, cem deles foram residências e outros três escolas situadas em três comunidades seringueiras.

O Projeto Piloto de Xapuri contemplou três seringais da Reserva Extrativista Chico Mendes, são eles: Iracema, Dois Irmãos e Albrácea. Cada um deles tivera um tipo diferente de Sistema Fotovoltaico Domiciliar (SFD) de modo que ,ao final do período de monitoramento, estimou-se o que melhor se adequaria ao atendimento das comunidades da região amazônica. Esta iniciativa funcionou com subsídios de recursos oficiais que, além de contemplar o usuário, os componentes do sistema fotovoltaico, também, conceberam três pontos de luz e quatro lâmpadas de 12 volts. No entanto, o transporte desse material até as localidades não requereu uma logística simples, pois as casas são muito afastadas umas das outras e os acessos são complicados. Essa situação agrava-se nos períodos de chuva. Para tanto, recorreu-se a meios de transporte como barco, caminhonetes com tração, e a animais como cavalos e burros.

Tabela 2 Sistemas de Atendimento do Projeto Piloto de Xapuri

| <b>Seringal</b> | <b>Sistema de Atendimento</b> | <b>Unidades Consumidoras</b> | <b>Potência FV (Wp)</b> | <b>Classe de Atendimento</b> | <b>Bateria (Ah/C20)</b> |
|-----------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------|
| Iracema         | Corrente Alternada (CA)       | 31                           | 3 x 85                  | SIGFI13                      | 2 x 150                 |
| Dois Irmãos     | Misto (CA + CC)               | 35                           | 3 x 85                  | SIGFI13                      | 2 x 150                 |
| Albrácea        | Corrente Contínua (CC)        | 37                           | 3 x 85                  | SIGFI13                      | 2 x 150                 |

Fonte: ELETROACRE (2008)

## 5.1 ESQUEMA DOS SISTEMAS INSTALADOS NOS SERINGAIS

No Seringal de Iracema, instalou-se um sistema de geração para fornecimento em corrente alternada com disponibilidade de 13kWh/mês, considerando um mês com menor insolação e autonomia de dois dias da bateria.

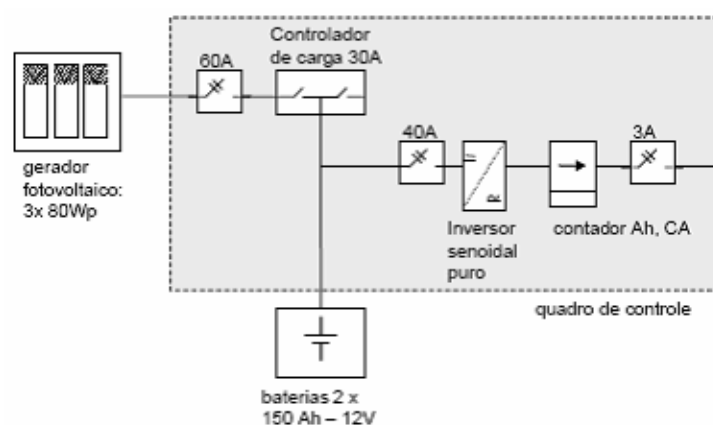


Figura 11 Representação unifilar do sistema CA  
Fonte: ELETROACRE (2008)

É notório lembrar que o quadro de controle (Figura 8) e a caixa com as baterias permanecem dentro da residência do cliente.

Na localidade de Dois Irmãos, por sua vez, implantou-se um sistema misto com fornecimento em correntes contínua e alternada na qual conectaram-se aparelhos que demandam maiores cargas e são utilizados durante poucas horas, como exemplo, temos televisor, receptor parabólico, ventilador e outros. A iluminação, o telefone rural e outras cargas constantes foram ligados em carga contínua.



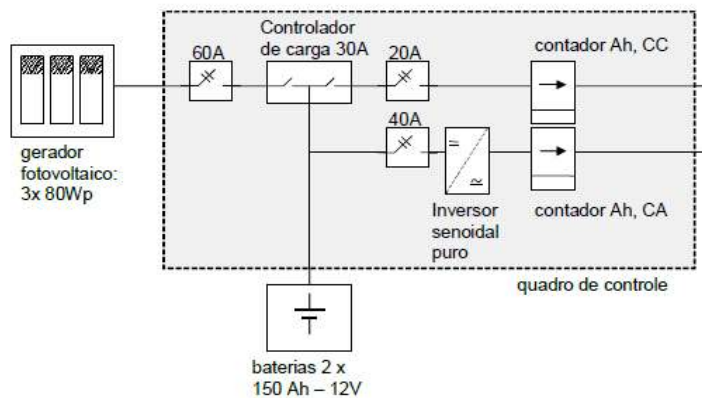


Figura 12 Representação unifilar do sistema misto CC + CA  
Fonte: ELETROACRE (2008)



Figura 13 Quadro de controle instalado na comunidade seringueira de Dois Irmãos  
Fonte: LPT (2007)

O Seringal de Albrácea é operado em corrente contínua e apresenta maior disponibilidade energética quando equiparado aos demais sistemas com taxas que variam de 15% a 20% a mais de energia, justificadas pela ausência do inversor de carga.

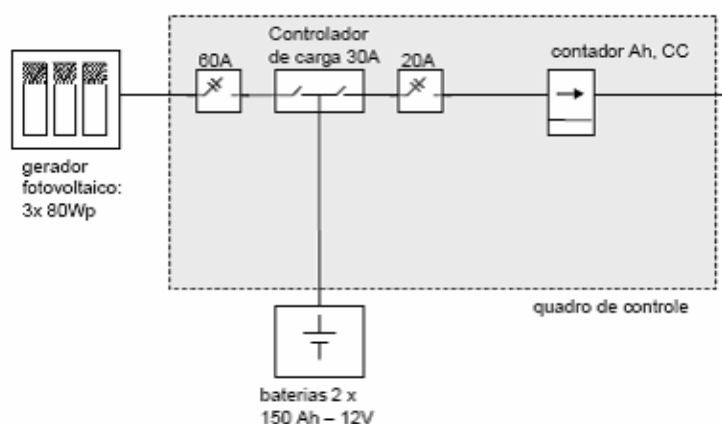


Figura 14 Representação unifilar do sistema CC  
Fonte: ELETROACRE (2008)

## 5.2 MODELO DE GESTÃO

O modelo de gestão adotado estrutura-se a partir do suporte de um técnico de manutenção, em período integral, locado na sede da ELETROACRE em Rio Branco e do apoio de dois agentes locais, situados nos seringais de Xapuri, dispoindo de meios de transporte adequado – bicicleta, locação animal e barco – além de telefone celular com bom funcionamento nas localidades atendidas. Deste modo, são realizadas manutenções preventivas e corretivas nos sistemas. A *manutenção preventiva* é executada através de visitas trimestrais em cada unidade consumidora orientada pelo programa de checagem dos sistemas preestabelecido pela ELETROACRE. Nesta visita rotineira, é entregue a fatura mensal, bem como solicitados do cliente a assinatura e o preenchimento de um pequeno relatório de serviço; *manutenção corretiva* – é a primeira intervenção realizada pelo agente local, a partir do chamado do cliente, que detectará a causa do problema e será efetuada a correção. Quando não conseguir resolver o chamado, o agente deverá informar à equipe de manutenção da matriz da ELETROACRE que o acompanhará até

o local para resolução do problema. Ainda assim, as famílias recebem instruções para operar o sistema de modo que não falte energia e seja garantida a sustentabilidade do modelo. A fatura mensal gira em torno de R\$ 2,80 mensais. Embora haja singularidades intrínsecas à região, tem-se como meta desse projeto-piloto a prestação de um serviço eficiente e de boa qualidade.

### **5.3 MONITORAMENTO DOS SISTEMAS INSTALADOS NO PROJETO XAPURI**

#### **5.3.1 MONITORAMENTO TÉCNICO**

Para acompanhar o desenvolvimento técnico dos sistemas autônomos, cada uma das três localidades – Iracema, Ibrácea e Dois Irmãos - tivera duas residências equipadas com o SAAD (Sistemas Automizados de Aquisição de Dados) e com um medidor de energia elétrica. Pode-se dizer que não houveram critérios muito rígidos na escolha dos dois imóveis onde foram instalados esse aparato de acompanhamento. Buscou-se um local de acesso fácil, tendo em vista as visitas mensais a serem realizadas para aferição de grandezas. Nesta perspectiva, para se obter uma noção do consumo e comportamento energético, contemplaram-se dois perfis distintos de consumidores: um com condição financeira mais elevada e outro com situação econômica menos favorável. A Figura 15, mostra o posicionamento geográfico dessas casas, identificadas por siglas, além do centro de Xapuri.



Figura 15 Posicionamento dos SAADs  
 Fonte: ELETROACRE (2008)

Nas casas monitoradas pelo SAAD, a cada 15 minutos, são registrados os valores de meteorologia, consumo, disponibilidade de energia e outros. Estes cálculos foram elaborados a partir da coleta de dados meteorológicos - radiação solar e temperatura ambiente; de informações resultantes da medição de tensão, cálculo de potência real e potência virtualmente disponível no módulo fotovoltaico; da medição da corrente (carga e descarga), tensão, temperatura (aferida somente em Albrácea e Iracema) e cálculo de potência (carga e descarga) referentes à bateria; de dados que mediram a corrente e tensão, a potência e energia consumida em carga contínua (este último aferido apenas em Dois Irmãos e Albrácea); e da medição de corrente e potência, cálculo de potência e energia consumida pelo inversor tanto na entrada (registrada pelos sistemas de Dois Irmãos e Iracema) quanto na saída (Iracema), além do cálculo de energia em corrente alternada.



Figura 16 Painel fotovoltaico e sensor de radiação acoplado  
Fonte: ELETROACRE (2008)

### 5.3.2 MONITORAMENTO POR PESQUISA DE SATISFAÇÃO

No intuito de mensurar a aceitabilidade, bem como a qualidade do serviço de energia elétrica prestado pela ELETROACRE foram realizadas duas pesquisas de campo sequenciais a instalação dos Sistemas Fotovoltaicos Domiciliares (SFD) nas três comunidades seringueiras. A primeira delas quatro meses após a instalação do sistema e a segunda aos dez meses de implantação. Nessas pesquisas, foram avaliados os resultados do ponto de vista do morador por meio dos seguintes aspectos (ELETROACRE, p. 103, 2008):

- Desempenho técnico do sistema;
- Consumo de energia e finalidade de uso;
- Adaptação dos usuários;
- Impacto econômico do SFD e entendimento da operação;
- Qualidade do serviço prestado pela ELETROACRE;
- Acesso a eletrodomésticos e aparelhos eletrônicos.

Conforme dados da pesquisa, observou-se que em cerca de 1/4 das unidades consumidoras faltou energia, na maioria das vezes, devido a problemas com o inversor. Diante dessa situação, registrou-se que alguns usuários permaneceram longos períodos sem energia, constatando-se ainda que a longa espera não fora tão somente por demora da visita do técnico, mas devido ao retardo na chegada de peças a serem repostas e, as vezes, pela ausência do morador no local.

No que se refere ao funcionamento do sistema, verificou-se que, em 90,1% dos casos, a bateria não descarregou completamente e 84,6% dos entrevistados informaram que o disjuntor não desarmou; no entanto, mais da metade dos 63% que tinham rádio, perceberam que o sinal do aparelho piorou depois da instalação do sistema fotovoltaico.

Em relação às limitações de uso dos aparelhos, quis-se saber se o usuário verificava as potências antes ligá-los ao SFD, conforme orientação anterior; contudo, registraram-se dificuldades de reconhecimento dos equipamentos adequados ao SFD. Sendo assim, é preferível a utilização de uma etiqueta ou selo que facilite o uso.

Constatou-se ainda que 88% dos usuários entrevistados desejam adquirir outros aparelhos elétricos, os mais citados foram: geladeira, TV, aparelho de som, ventilador e liquidificador.

Tabela 3 Distribuição dos equipamentos elétricos que a família gostaria de comprar

| Equipamentos Elétricos | Albrácea            | %   | Dois Irmãos         | %   | Iracema             | %    |
|------------------------|---------------------|-----|---------------------|-----|---------------------|------|
|                        | Frequência Absoluta |     | Frequência Absoluta |     | Frequência Absoluta |      |
| Antena                 | -                   | -   | 1                   | 3,6 | -                   | -    |
| Ar condicionado        | -                   | -   | 1                   | 3,6 | -                   | -    |
| Batedeira              | -                   | -   | 1                   | 3,6 | -                   | -    |
| Bebedouro              | 1                   | 3,7 | -                   | -   | -                   | -    |
| Bomba d'água           | -                   | -   | -                   | -   | 3                   | 12,0 |
| Caixa amplificadora    | -                   | -   | 1                   | 3,6 | -                   | -    |
| Caixa de som           | -                   | -   | 1                   | 3,6 | -                   | -    |

|                          |    |      |    |      |    |      |
|--------------------------|----|------|----|------|----|------|
| Caixa de som com DVD     | -  | -    | 1  | 3,6  | -  | -    |
| Celular                  | 1  | 3,7  | 1  | 3,6  | -  | -    |
| Cerca elétrica           | -  | -    | 1  | 3,6  | -  | -    |
| Computador               | -  | -    | 1  | 3,6  | -  | -    |
| DVD                      | 2  | 7,4  | 6  | 21,4 | 2  | 8,0  |
| Ferro de passar          | -  | 0,0  | 4  | 14,3 | 1  | 4,0  |
| Freezer                  | 1  | 3,7  | 6  | 21,4 | -  | -    |
| Geladeira                | 4  | 14,8 | 10 | 35,7 | 11 | 44,0 |
| Lavadora de roupas       | 1  | 3,7  | 1  | 3,6  | -  | -    |
| Liquidificador           | 2  | 7,4  | 9  | 32,1 | 5  | 20,0 |
| Máquina de cortar cabelo | -  | -    | -  | -    | 1  | 4,0  |
| Rádio                    | 1  | 3,7  | -  | -    | 1  | 4,0  |
| Receptor de antenna      | 1  | 3,7  | 3  | 10,7 | 1  | 4,0  |
| Som                      | 13 | 48,1 | 7  | 25,0 | 7  | 28,0 |
| TV                       | 18 | 66,7 | 7  | 25,0 | 7  | 28,0 |
| Ventilador               | -  | -    | 12 | 42,9 | 10 | 40,0 |

Fonte: ELETROACRE (2008)

No que se refere ao reconhecimento do tipo de sistema instalado, notou-se que 18,7% dos 91 entrevistados não souberam responder ou erraram na identificação do seu tipo; no entanto, nas entrevistas do 2º monitoramento, houve uma redução de 1,7% em relação às dúvidas e erros quanto à identificação do tipo de sistema utilizado. Na comunidade seringueira de Dois Irmãos, esse índice foi um pouco maior, quiçá pelo fato do sistema ser misto e isso ocasionar maiores dúvidas nos usuários. Quanto à operação do sistema, identificou-se que 88% dos usuários de Dois Irmãos e 70% dos de Iracema e Albrácea sabiam reconhecer se o conjunto estava operando em estado crítico da seguinte forma: se aceso o LED amarelo do controlador indica que a bateria não está adequadamente carregada; o LED vermelho aceso aponta que a bateria está descarregada, neste caso o sistema desliga-se automaticamente.

Quanto à eficiência dos inversores de operação manual, instalados em Dois Irmãos, e os de trabalho automático (*stand by*), acoplados aos

sistemas de Iracema, constatou-se que as perdas verificadas foram menores nos de operação manual já que estes permanecem ligados por menos tempo; consumindo, portanto, menos energia.

Para analisar a qualidade do serviço prestado pela concessionária, houveram perguntas relacionadas a quatro indicadores: SFD; instalação elétrica domiciliar; informação e comunicação; serviços da ELETROACRE. Em todos os itens registrou-se um índice de satisfação superior a 83%, com exceção do seringal de Albrácea cuja atuação do agente local fora comprometida pelo fato dele não residir na comunidade e nem próximo a ela.

Ainda assim, o consumo de energia, bem como a quantidade de aparelhos elétricos existentes nos domicílios foram analisados tanto no 1º quanto no 2º monitoramento. Todavia, notou-se uma discrepância entre o número de eletrodomésticos entre os seringais de Dois Irmãos e Iracema (média de 3/UC) e o seringal de Albrácea (média, <1/UC). Ainda assim, o consumo de energia em Albrácea tivera as menores taxas quando equiparadas às demais comunidades. Esses dados podem ser justificados pela menor oferta de aparelhos em corrente contínua, bem como pelo menor poder aquisitivo da maioria dos moradores para compra de equipamentos.

Consumo de Energia

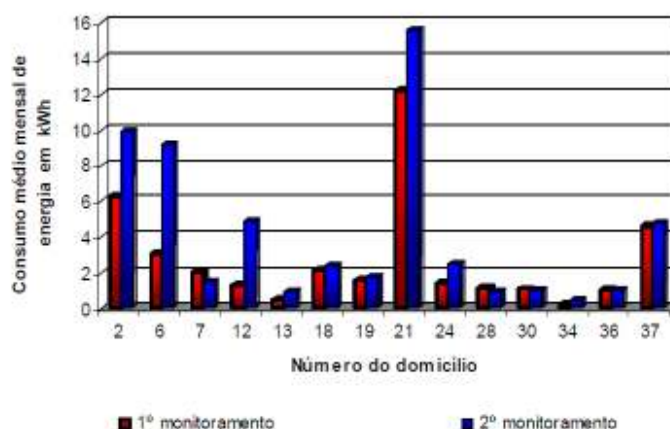


Gráfico 42: Comparação do consumo médio mensal em kWh – Albrácea (somente amostras pareadas)



Figura 17 Perfil de consumo dos 14 usuários analisados em Albrácea  
Fonte: ELETROBRÁS (2008)

Sabe-se que, dos 14 usuários pareados analisados em Albrácea, somente um consome mais de 10kWh/mês e sete apresentam consumo inferior a 2kWh/mês em dez meses de instalação. Nesse sentido, em apenas cinco domicílios, registrou-se aumento significativo de consumo; nos demais, o índice praticamente manteve-se inalterado.

#### **5.4 RESULTADOS DO PROJETO**

Sabe-se que o Projeto Piloto Xapuri aumentou a renda e as oportunidades de emprego na região. A empresa terceirizada Vectra Engenharia, responsável pela manutenção do sistema, fez algumas contratações de moradores da região, estes recebem cerca de R\$ 700,00 por mês e exercem a função de agente local.

Nas três escolas contempladas pela iniciativa, os estudantes desfrutam das facilidades propiciadas pela energia elétrica, tais como: assistem DVDs, utilizam lâmpadas, ao escurecer, não mais havendo a necessidade de parar a aula. Além disso, a instalação dos sistemas possibilitou aos alunos estudar à noite; reforçando as lições quando já estão em suas casas.

Contudo, existem alguns entraves. O envio das contas de energia para as casas, por exemplo, trata-se de um procedimento exigido pelo Código de Defesa do Consumidor e pela ANEEL; no entanto, é dificultado pela logística complicada em que as distâncias a serem percorridas são imensas e os acessos, em determinadas épocas do ano, são inexistentes. A norma estabelece que as cartas de cobrança sejam entregues mensalmente, mas diversas famílias encontram-se com os pagamentos atrasados por não estarem recebendo as faturas ou por não conseguirem ir ao município de Xapuri quitá-las. Uma solução para esta questão seria que os moradores

efetivassem o pagamento quando fossem à cidade por outras finalidades. Ainda assim, isso não isentaria a concessionária da responsabilidade na entrega das contas, mesmo que os valores das tarifas não cubram o investimento inicial, tampouco os custos da entrega das faturas e manutenção do aparato. Estima-se que a operação e a manutenção de cada sistema custem em torno de R\$ 690,00 por ano. Como a tarifa cobrada é de cerca de R\$ 2,80 por mês, não existe retorno financeiro. Nesse sentido, o programa necessita de fortes subsídios.

Todavia, faz-se necessária a melhoria de alguns pontos técnicos. A criação de um sistema robusto com saída em corrente alternada e contínua de modo a suportar uma geladeira eficiente, por exemplo. A ELETROACRE, a partir dessa experiência do Projeto Xapuri, pleiteou junto à ANEEL essa mudança. Esse investimento aqueceria a economia local, já que os eletrodomésticos poderiam ser utilizados pelos moradores que os adquiriria no comércio regional a partir da ajuda de algum programa social.

No entanto, observou-se que a utilização de equipamentos de consumo energeticamente eficientes, mesmo que apresentem custo mais elevado quando equiparado ao uso de equipamentos com menor eficiência energética, possibilitam a redução do porte do microssistema de geração, preservando a mesma utilidade do sistema.

Ainda assim, dentre os três tipos de sistemas testados no Projeto Piloto Xapuri, aquele que obteve maior eficiência energética e confiabilidade fora o sistema fotovoltaico individual misto (CA + CC). Esta modalidade de atendimento, cujo uso do inversor é mais moderado, representa ainda uma economia considerável nos custos de investimento, quando equiparados aos sistemas com saída única em corrente alternada. Constatou-se, assim, que o inversor responde por valores entre 15 e 20 % de perdas em relação à potência de entrada. Além disso, o inversor foi o equipamento que obteve maior número de problemas.

Para a sustentabilidade das medidas de eficiência energética propostas, bem como utilização adequada dos sistemas tipo SIGFI faz-se

necessário orientação adequada aos usuários dos sistemas de modo que estes possam identificar, em um primeiro momento, parte do problema.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A energia solar provém de uma fonte intermitente cuja utilização para geração de corrente elétrica pode ser bem aproveitada por terras tropicais como o Brasil onde os valores de incidência de radiação solar são excelentes.

Nos últimos anos, a legislação brasileira tem promovido o estabelecimento de normas e orientações acerca da utilização dos sistemas fotovoltaicos, incentivando a disseminação dessa fonte alternativa de energia. Essas iniciativas têm como meta a universalização dos serviços de energia, tendo em vista o direito à qualidade de vida, bem como a igualdade de oportunidades.

O desenvolvimento e a execução de projetos pilotos configuram-se como uma importante ferramenta para o aprimoramento e a consequente assertividade das normas legais. Nesse contexto, através do Projeto Xapuri, pôde-se vivenciar as reais necessidades de consumidores isolados, o desempenho de equipamentos, bem como a logística de transporte e manutenção de um sistema fotovoltaico isolado. Dessa experiência, percebeu-se que um sistema misto, com saída em corrente alternada e contínua, atende melhor aquela realidade, uma vez que diminui o uso do inversor responsável pelo consumo desnecessário de parte da corrente. As orientações, quanto ao uso do sistema, também são de fundamental importância para a efetividade do aparato, já que alguns contratempos podem ser evitados através instruções objetivas e bem direcionadas ao consumidor.

A facilidade propiciada pelo uso da energia elétrica é algo interessante e pode-se inferir que está relacionada a um impacto positivo na

vida dessas pessoas. A possibilidade de se estender o horário no cumprimento de algumas tarefas rotineiras é algo que, até mesmo nos locais isolados, torna-se cômodo. Proporcionar mais conforto a quem reside em locais de difícil acesso contribui para a diminuição do êxodo rural e os consequentes problemas ocasionados pela migração humana para os grandes centros. Além disso, a ausência de linhas de transmissão e distribuição propiciada pela geração isolada dos sistemas fotovoltaicos praticamente não modificam a paisagem natural, resultando em um baixo impacto ambiental.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABINEE Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. **Propostas Para Inserção Da Energia Solar Fotovoltaica Na Matriz Elétrica Brasileira**, 2012.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Congresso. Resolução n.º 083, de 2004. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 20 set. 2004.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Manual de Operacionalização do Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica – “Luz para Todos”, 2004.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Atlas de Irradiação Solar do Brasil. 2 ed. Brasília, 2002.

ELETROACRE. Projeto Piloto Xapuri, 2008.

JANNUZZI, G. M.; VARELLA, F. K. O. M.; GOMES, R. D. M. RELATÓRIO FINAL: **Avaliação dos Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes - SIGFI's**.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações**. 1. Ed. São Paulo: Érica, 2012.

<[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 19 nov. de 2011.

<[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Ombri%C3%A8re\\_SUDI\\_-\\_Sustainable\\_Urban\\_Design\\_%26\\_Innovation.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Ombri%C3%A8re_SUDI_-_Sustainable_Urban_Design_%26_Innovation.jpg)>. Acesso em 26 jan. de 2013.

<[http://www.solenerg.com.br/blog/?attachment\\_id=50](http://www.solenerg.com.br/blog/?attachment_id=50)>. Acesso em 26 jan. de 2013.

<<http://www.marine.com.br/tem/Batelco/inversores/500.htm>>. Acesso em 26 jan. de 2013.

<[http://www.plurale.com.br/noticias-ler.php?cod\\_noticia=9259](http://www.plurale.com.br/noticias-ler.php?cod_noticia=9259)>. Acesso em 29 jan. de 2013.

<<http://meteoropole.com.br/2012/12/radiacao-na-atmosfera-curso-de-meteorologia-e-saude-parte-1/>>. Acesso em 01 fev. de 2013.

**8 ANEXOS**