



**Eletrobras**

**Guia Técnico para Atendimento com  
Sistemas de Geração Fotovoltaica  
no âmbito dos Programas  
Luz para Todos e Mais Luz para a Amazônia**

**Versão 1**  
outubro/2021

Presidência – PR  
Superintendência de Programas de Governo - PRF  
Programas Luz para Todos e Mais Luz para a Amazônia – PRFL

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO</b> .....	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>TIPOS DE ATENDIMENTO</b> .....	<b>5</b>
3.1	SISTEMA INDIVIDUAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM FONTE INTERMITENTE – SIGFI .....	6
3.2	MICROSSISTEMA ISOLADO DE GERAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – MIGDI .....	7
3.3	SISTEMA DE BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICO – SBFV .....	10
3.4	CRITÉRIOS A SEREM CONSIDERADOS NA ESCOLHA DO SISTEMA A SER INSTALADO .....	11
<b>4</b>	<b>DISPONIBILIDADE MENSAL GARANTIDA</b> .....	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>ESPECIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS E ESTRUTURAS</b> .....	<b>13</b>
5.1	MÓDULOS FOTOVOLTAICOS .....	14
5.2	CONTROLADORES DE CARGA.....	15
5.3	INVERSORES .....	16
5.4	EQUIPAMENTOS INTEGRADOS (INVERSOR/CONTROLADOR DE CARGA).....	17
5.5	BATERIAS.....	17
5.5.1	<i>Baterias estacionárias do tipo chumbo-ácido</i> .....	18
5.5.2	<i>Baterias estacionárias do tipo íons de lítio</i> .....	19
5.6	REQUISITOS TÉCNICOS DOS PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS .....	20
<b>6</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DE SIGFI E MIGDI</b> .....	<b>21</b>
6.1	METODOLOGIA DE CÁLCULO.....	21
6.1.1	<i>Dimensionamento do Banco de Baterias</i> .....	22
6.1.2	<i>Dimensionamento do Arranjo Fotovoltaico</i> .....	22
6.1.3	<i>Dimensionamento do Controlador de Carga ou Inversor Fotovoltaico</i> .....	24
6.1.4	<i>Dimensionamento do Inversor de Bateria</i> .....	27
<b>7</b>	<b>CRITÉRIOS ADOTADOS PARA O DIMENSIONAMENTO</b> .....	<b>29</b>
7.1	IRRADIAÇÃO SOLAR.....	29
7.2	EFICIÊNCIA DOS EQUIPAMENTOS .....	31
7.2.1	<i>Eficiência do Arranjo Fotovoltaico (<math>\eta_{FV}</math>)</i> .....	31
7.2.2	<i>Eficiência do Controlador de Carga (<math>\eta_{Con}</math>)</i> .....	32
7.2.3	<i>Eficiência do Inversor de Bateria (<math>\eta_{IFR}</math>)</i> .....	33
7.2.4	<i>Eficiência do Inversor Fotovoltaico (<math>\eta_{IFV}</math>)</i> .....	33
7.2.5	<i>Eficiência do Banco de Baterias (<math>\eta_{Bot}</math>)</i> .....	33
7.3	EFICIÊNCIA DOS PROCESSOS DE ARMAZENAMENTO, TRANSMISSÃO E CONVERSÃO DE ENERGIA .....	34
7.3.1	<i>Eficiência Total entre o Consumo CC e o Consumo CA (<math>\eta_{CC/CA}</math>)</i> .....	34
7.3.2	<i>Eficiência do Processo de Armazenamento e Conversão de Energia (<math>\eta_{CC/CC}</math> ou <math>\eta_{CA/CA}</math>)</i> .....	34
7.3.3	<i>Eficiência nas Transmissões CC/CA (<math>\eta_{Tr}</math>)</i> .....	35
7.3.4	<i>Performance Ratio (PR)</i> .....	36
7.4	AUTONOMIA DO BANCO DE BATERIAS .....	37
7.5	PROFUNDIDADE DE DESCARGA DO BANCO DE BATERIAS ( $DOD_{MAX}$ ) .....	37

7.6	CAPACIDADE <i>END-OF-LIFE</i> DO BANCO DE BATERIAS .....	38
7.7	FATOR DE CONSUMO DIRETO ( $F_{CD}$ ) .....	38
7.8	REGIME DE DESCARGA DO BANCO DE BATERIAS .....	39
<b>8</b>	<b>COMPOSIÇÃO ORÇAMENTÁRIA DOS PROGRAMAS DE OBRAS .....</b>	<b>39</b>
8.1	RUBRICA MATERIAL .....	40
8.2	RUBRICA MÃO DE OBRA DE TERCEIROS .....	41
8.2.1	<i>Mão de Obra de Implantação dos Sistemas</i> .....	41
8.2.2	<i>Transporte de Pessoal</i> .....	42
8.3	RUBRICA TRANSPORTE DE TERCEIROS .....	43
8.4	RUBRICA ENGENHARIA/ADMINISTRAÇÃO .....	44
<b>9</b>	<b>COMPONENTES ESPECÍFICOS DE SISTEMAS MIGDI .....</b>	<b>45</b>
9.1	MINIRREDE DE DISTRIBUIÇÃO .....	45
9.2	OBRAS CIVIS .....	45
9.3	SISTEMA DE COLETA DE DADOS OPERACIONAIS – SCD .....	52
9.4	SISTEMA DE SUPERVISÃO E CONTROLE .....	53
9.5	SISTEMA DE COMUNICAÇÃO LOCAL E/OU REMOTA .....	54
<b>10</b>	<b>MEDIÇÃO DE CONSUMO E CONTROLE DE DEMANDA .....</b>	<b>55</b>
<b>11</b>	<b>APRESENTAÇÃO DOS PROGRAMAS DE OBRAS .....</b>	<b>56</b>
<b>12</b>	<b>OBSERVAÇÕES IMPORTANTES SOBRE A EXECUÇÃO DAS OBRAS .....</b>	<b>57</b>
<b>13</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>58</b>
<b>14</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>59</b>
	<b>ANEXO I – MODELO PROPOSTO PARA O MEMORIAL DESCRITIVO DO PROGRAMA DE OBRAS .....</b>	<b>61</b>

## **1 Introdução**

Como parte do processo de universalização do acesso ao serviço público de energia elétrica brasileiro, foi instituído em 2003 o **Programa Luz para Todos - LPT**. Desde então os números alcançados o credenciam como um dos maiores programas de inclusão elétrica do mundo, além de importante instrumento de desenvolvimento social do país.

Entretanto, ainda há uma parcela da população residente em regiões remotas do país, pequenos agrupamentos comunitários ou até mesmo domicílios isolados, afastados das sedes municipais, que justamente por suas características geográficas e ambientais não poderão ser atendidas com extensão de rede elétrica convencional, requerendo o emprego de tecnologias de geração diferenciadas para que sejam atendidos.

Assim, foi instituído em fevereiro de 2020 o **Programa Mais Luz para a Amazônia - MLA**, com o objetivo de promover o acesso à energia elétrica a essa população localizada nas regiões remotas dos estados da Amazônia Legal, por meio da utilização de fontes renováveis de geração de energia elétrica, principalmente sistemas fotovoltaicos.

Neste contexto, de instituição do Programa Mais Luz para a Amazônia e também de evolução tecnológica nas áreas de geração fotovoltaica e de armazenamento de energia, a Eletrobras, exercendo o seu importante papel de operacionalizadora dos Programas LPT e MLA, identificou a necessidade de publicação de um novo "Guia Técnico" que auxiliasse o Agente Executor na elaboração de seu Programa de Obras - PO.

Os tópicos abordados neste documento foram identificados principalmente durante as interações entre a equipe técnica da Eletrobras e os Agentes Executores, em um trabalho conjunto para que os Programas de Obras contemplassem as opções tecnológicas mais adequadas à realidade das unidades consumidoras a serem atendidas, bem como a alocação otimizada do recurso público envolvido.

Cabe ressaltar que na elaboração dos Programas de Obras, devem ser considerados prioritariamente os requisitos e diretrizes presentes nos Manuais de Operacionalização dos Programas LPT e MLA.

## 2 Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo **aprimorar a metodologia para apresentação dos Programas de Obras visando auxiliar os Agentes Executores** em sua elaboração e a Eletrobras no processo de análise técnico-orçamentária, contribuindo assim para otimização do processo de contratação como um todo.

## 3 Tipos de Atendimento

O atendimento realizado com sistemas fotovoltaicos deverá ser feito por meio de Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente – **SIGFI** ou Microssistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica – **MIGDI**, os quais possuem procedimentos e condições definidos pela Resolução Normativa da ANEEL nº 493/2012.

Em caso de unidades consumidoras constituídas exclusivamente por poços de água, o atendimento deverá ser realizado por meio de Sistema de Bombeamento Fotovoltaico – **SBFV**.

Por definição, considera-se fonte intermitente qualquer recurso energético renovável que não está disponível continuamente devido a fatores que não são de controle direto e que, para fins de conversão em energia elétrica, pelo sistema de geração, não pode ser armazenada em sua forma original.

Por ser o recurso energético renovável amplamente adotado pelos Agentes Executores na elaboração dos Programas de Obras no âmbito do LPT e MLA, este Guia se restringirá aos sistemas cuja fonte de energia intermitente seja a **solar fotovoltaica**.

### 3.1 Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente – SIGFI

Sistemas SIGFI são instalados para o atendimento a uma única unidade consumidora - UC, constituindo assim um sistema de menor porte e complexidade. Na Figura 1 é apresentada uma foto de um SIGFI instalado no estado do Pará.



*Figura 1 – SIGFI em domicílio atendido (Fonte: Acervo Eletrobras)*

Visando a padronização e otimização dos SIGFIs foi adotado como referência um barramento de corrente contínua, ao qual está conectado o arranjo FV através de um controlador de carga. A Figura 2 apresenta uma configuração de um SIGFI.

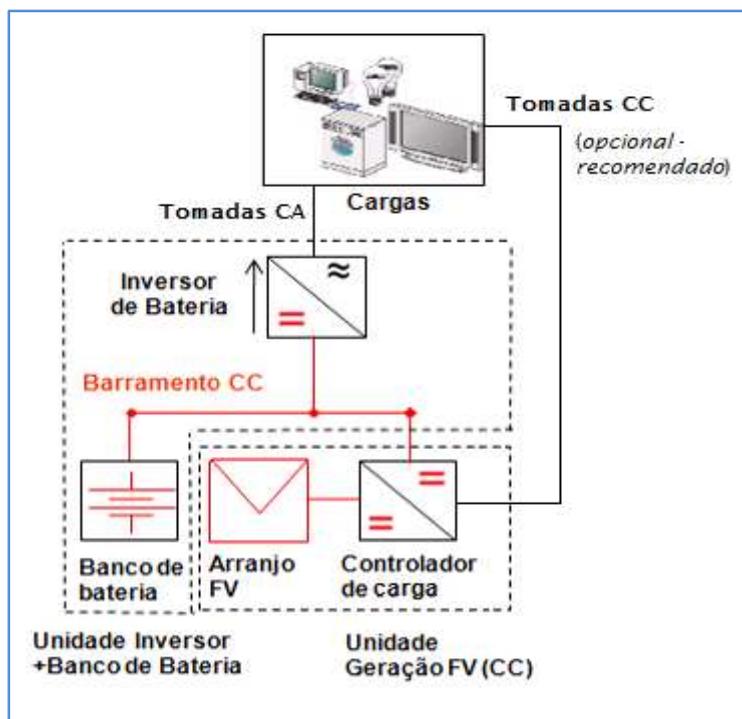


Figura 2 - Configuração SIGFI

### 3.2 Microssistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica – MIGDI

Sistemas MIGDI são microssistemas isolados de geração e distribuição de energia elétrica com potência instalada total de geração de até 100 kW. Por constituírem sistemas para o atendimento a várias unidades consumidoras, apresentam porte maior e também outros componentes não encontrados nos sistemas individuais. São eles:

- Construção civil para abrigo dos equipamentos;
- Minirrede de distribuição;
- Área para abrigo do grupo gerador diesel e tanque de combustível (**em caso de MIGDIs híbridos do Programa LPT**).

A seguir são apresentadas fotos de um MIGDI do Programa LPT no estado do Maranhão.



Figura 3 – Arranjo fotovoltaico  
(Fonte: Acervo Eletrobras)



Figura 4 – Abrigo para os equipamentos  
(Fonte: Acervo Eletrobras)



Figura 5 - Minirrede de distribuição  
(Fonte: Acervo Eletrobras)

De acordo com os critérios de projeto, os sistemas de geração podem apresentar arquiteturas de geração em CA, CC ou CA/CC. Os critérios que devem ser ponderados pelos Agentes Executores para a seleção entre essas arquiteturas devem levar em consideração características da curva de carga a ser atendida, equipamentos adotados, porte do sistema, expectativa de expansão futura, perdas técnicas, eficiência,

confiabilidade, flexibilidade de operação, características e extensão do terreno para implantação da usina, entre outros. A

Figura 6 apresenta a configuração de um MIGDI CA/CC.

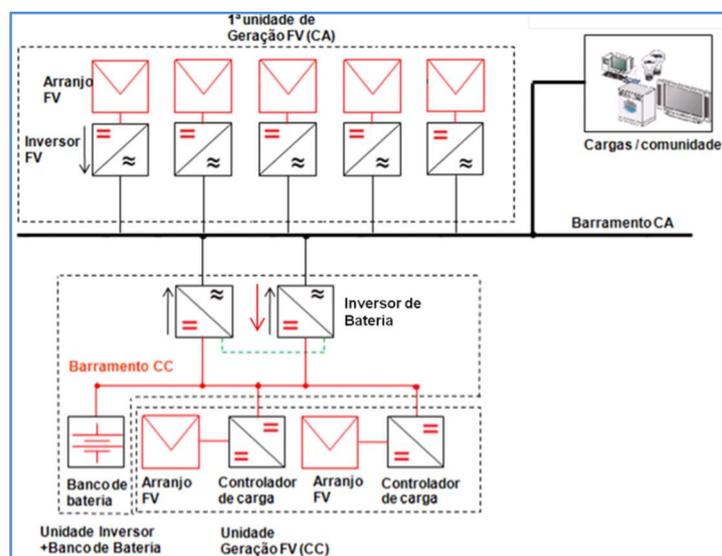


Figura 6 – Configuração MIGDI CA/CC

A arquitetura **MIGDI CA/CC** caracteriza-se pela presença de painéis conectados nos 2 barramentos, CA e CC. Sua principal vantagem é a possibilidade de expansão, adicionando-se módulos FV tanto no barramento CA quanto CC, dependendo da característica da curva de carga a ser atendida.

Nos sistemas **MIGDI CA**, a principal característica é a **presença de painéis fotovoltaicos conectados diretamente no barramento CA**, através de inversores fotovoltaicos. Desse modo, essa configuração apresenta 2 tipos de inversores (os fotovoltaicos, também chamados inversores e rede e os de bateria, também conhecidos como formadores de rede).

A grande aplicação desse tipo de acoplamento é quando a curva de carga a ser atendida possui majoritariamente carga a ser atendida durante o dia. Assim, a energia gerada pelo arranjo FV é diretamente entregue à carga, não passando pelo inversor de bateria e tampouco pelas baterias, o que proporciona maior eficiência ao sistema. Outro fator

importante desta configuração é a presença do barramento de corrente alternada, que permite uma maior flexibilidade na modularização.

Nas configurações **MIGDI CC**, os **arranjos fotovoltaicos são conectados no barramento CC**, através de um controlador de carga. Isso permite uma maior eficiência no processo de carga das baterias pelos painéis.

### 3.3 Sistema de Bombeamento Fotovoltaico – SBFV

O Sistema de Bombeamento Fotovoltaico - SBFV é uma alternativa economicamente viável e confiável para facilitar o acesso à água em áreas remotas.

O SBFV é formado por um arranjo FV, um drive de controle da bomba, uma bomba hidráulica, além de um reservatório de água, conforme ilustra a Figura 7.

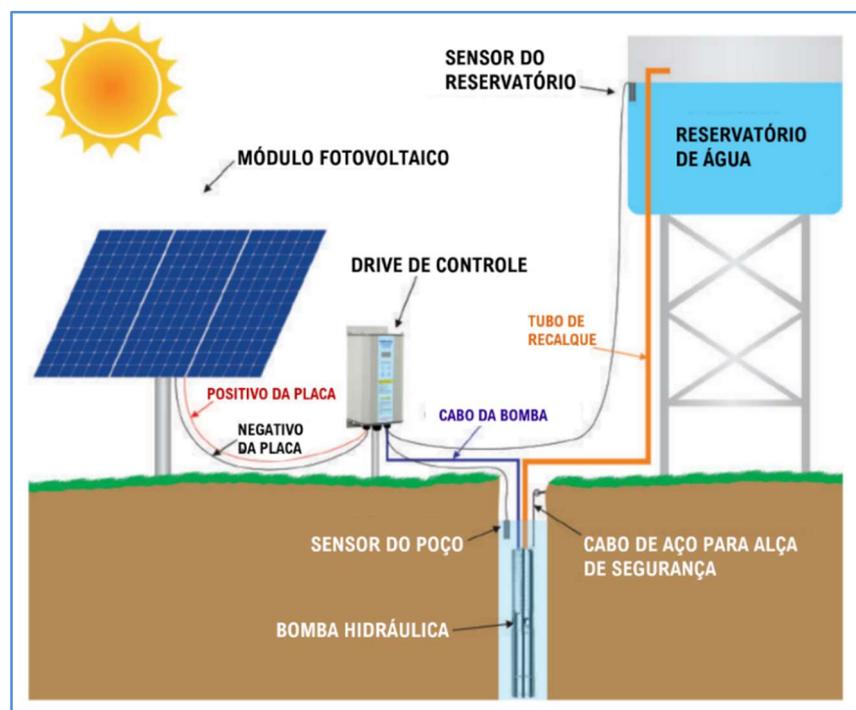


Figura 7 – Diagrama esquemático de um SBFV (Fonte: Página da Internet<sup>1</sup>)

<sup>1</sup> Disponível em: < [https:// www.energyshop.com.br](https://www.energyshop.com.br) >. Acesso em: 28 de out. de 2021.

No SBFV, o arranjo FV alimenta diretamente a bomba d'água solar não necessitando do uso de banco de baterias, uma vez que toda água bombeada é armazenada em um reservatório para uso posterior.

O SBFV pode contemplar atendimento a bombas d'água de uso coletivo e a bombas d'água de uso individual.

Cabe ressaltar que para sistemas SBFV, serão aceitos no Programa de Obras apenas os custos referentes ao arranjo fotovoltaico e ao drive de controle da bomba hidráulica, não sendo subvencionados pela Conta de Desenvolvimento Energético - CDE os custos da bomba hidráulica, reservatório e demais componentes da instalação hidráulica.

No entanto, para aceitação dos sistemas em campo, as bombas deverão estar instaladas, para que não haja glosas no momento da inspeção física.

### **3.4 Critérios a serem considerados na escolha do sistema a ser instalado**

A escolha entre os sistemas SIGFI e MIGDI deve levar em consideração os principais pontos:

- Localização espacial das unidades consumidoras a serem atendidas;
- Demanda energética a ser atendida por sistema;
- Custos de implantação, operação e manutenção dos sistemas;
- Grau de dificuldade para o transporte de materiais e equipamentos;
- Grau de organização social da comunidade a ser atendida;
- Taxa de falha dos equipamentos;
- Área geográfica disponível para implantação dos sistemas.

Cada aspecto acima deve ser ponderado pela concessionária a fim de determinar a melhor alternativa para cada comunidade a ser atendida.

A seguir são listados mais alguns pontos a serem considerados em uma decisão entre atendimentos por SIGFIs ou MIGDIs:

- Os MIGDIs podem gerar maiores impactos ambientais por necessitarem de áreas livres maiores para instalação do arranjo fotovoltaico, abrigo dos equipamentos e minirrede;
- MIGDIs tem instalação mais complexa, contendo maior diversificação de tipos de equipamentos a serem conectados, necessitando de compatibilidade entre eles, enquanto os SIGFIs têm instalação mais simples;
- MIGDIs proporcionam maior disponibilidade de energia percebida pela UC, em razão da diversidade de consumo propiciado pela própria natureza da rede de distribuição (quando uma UC deixa de consumir, essa energia pode ser utilizada por outra);
- MIGDIs podem apresentar viabilidade econômica para instalação de sistemas de monitoramento e automação, dependendo do número de UCs atendidas. Entretanto a aceitação do seu custo no PO compõe item a ser apreciado pelo Ministério das Minas e Energia - MME.

Caso a análise dos aspectos citados anteriormente, realizada pelo Agente Executor, indique que o atendimento às unidades consumidoras seja feito por meio de sistemas MIGDI, recomenda-se que estes sistemas sejam implantados somente **em comunidades com demanda energética acima de 900 kWh/mês**, uma vez que para demandas inferiores a adoção de MIGDIs pode tornar o projeto economicamente inviável diante dos custos adicionais da minirrede e, em especial, da obra civil necessária para abrigo dos equipamentos (banco de baterias, inversores etc.).

## 4 Disponibilidade Mensal Garantida

A disponibilidade energética mensal garantida deve ser tal que atenda às necessidades básicas de **iluminação, comunicação e refrigeração** dos domicílios.

Considerando o relatório do CEPEL Nº 3117/2014 – “Ensaio com sistemas SIGFI 20 e 30”, para unidades consumidoras com carga de refrigeração a disponibilidade mensal garantida deverá ser de no mínimo 45 kWh/mês.

Propostas de atendimentos que demandem disponibilidades mensais superiores a 45 kWh/mês por UC serão objeto de análise pelo MME e Eletrobras. Para esses casos, deverá ser apresentada curva de carga com a relação da potência (kW) e horas de utilização de cada utensílio elétrico previsto.

Nos casos de UCs de uso coletivo e de uso produtivo (Centros Comunitários de Produção - CCPs), deverão ser apresentadas curvas de carga com a relação da potência (em kW), das horas de utilização de cada utensílio elétrico previsto e um breve descritivo sobre as características físicas, finalidade e dinâmica de utilização, quantidade de cômodos, horas de funcionamento e periodicidade (dias na semana), a fim de respaldar a demanda energética apresentada no PO.

## 5 Especificação dos Principais Equipamentos e Estruturas

Projetos de atendimento com sistemas de geração fotovoltaica são algo novo para as distribuidoras brasileiras, principalmente para os sistemas isolados que têm sistemas térmicos a diesel como referência há muitos anos.

Desta forma, a cuidadosa especificação dos equipamentos e do sistema como um todo, garantindo uma satisfatória qualidade dos equipamentos, dos serviços prestados, das instalações e da operação dos sistemas é de vital importância para que os sistemas

operem adequadamente por um longo período e que não comprometam os custos de geração projetados.

## 5.1 Módulos Fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos são os responsáveis pela conversão da energia solar em energia elétrica. Quanto ao princípio de fabricação, existem os módulos de filmes finos e os de silício cristalino, sendo o último o mais amplamente utilizado por apresentarem maior eficiência (ocupam menos espaço), terem uma expectativa de vida útil superior a 25 anos e pela redução do seu custo ao longo dos anos impulsionada pela disseminação da geração distribuída.

Diante disso, caso sejam apresentados módulos de tecnologia diferentes dos de silício cristalino, o Agente Executor deverá apresentar justificativa a ser avaliada pela Eletrobras.

Os módulos de silício cristalino podem ser monocristalinos (m-Si) ou policristalinos (p-Si). Os módulos policristalinos são menos eficientes, mas seu custo-benefício fez com que historicamente dominassem o mercado fotovoltaico, contudo com o avanço da tecnologia, os módulos monocristalinos passaram a substituir os módulos policristalinos no mercado.

A inovação que chegou ultimamente ao mercado são os módulos baseados em células monocristalinas *half-cell* (meia-célula). Enquanto as células policristalinas já podiam ser fabricadas no formato retangular, as células monocristalinas (por causa do processo de fabricação do lingote cristalino) só podiam ser fabricadas no formato quadrado (ou originalmente circular).

Vários fabricantes estão ofertando módulos com 144 células, que são a versão *half-cell* dos tradicionais módulos de 72 células. Módulos de 144 ou 72 células são muito

similares, com características mecânicas e elétricas muito parecidas. O que se ganha com as *half-cells* é um aumento da eficiência do módulo.

Outra vantagem dos módulos *half-cell* é a maior tolerância a sombreamentos do que os módulos tradicionais. A divisão das células em um maior número de grupos, como ocorre nos módulos *half-cell*, permite desacoplar o efeito das sombras quando incidem em apenas determinadas partes dos módulos (sombras parciais).

A tensão gerada por um módulo fotovoltaico é definida pelo número de células em série que o constitui, sendo a escolha de módulos de 72, 144 ou mais células deverá ser avaliada considerando o aspecto econômico e o tipo de controlador de carga (PWM ou MPPT) que irá operar em conjunto com o arranjo FV.

Vale ressaltar que a escolha do tipo de módulo de silício deverá ser avaliada pelo Agente Executor, levando em conta os custos e a disponibilidade no mercado.

## 5.2 Controladores de Carga

Os controladores de carga são dispositivos eletroeletrônicos responsáveis pelo gerenciamento de carga do banco de baterias, realizando a conexão deste com os módulos fotovoltaicos do sistema, evitando assim, sobrecargas ou descargas excessivas nas baterias e prolongando sua vida útil.

As tecnologias mais comuns no mercado são controladores com modulação por largura de pulso (*Pulse Width Modulation* - PWM) e controladores que buscam o ponto de máxima potência do módulo (*Maximum Power Point Tracking* - MPPT). Os controladores PWM, são mais baratos, mas limitam a geração dos módulos em uma tensão correspondente a das baterias, podendo ser menos eficientes. Já os controladores MPPT otimizam a produção de energia, uma vez que estão sempre buscando o ponto de máxima potência.

A decisão entre a adoção de um tipo ou outro, não está baseada puramente em um tipo de controle ser melhor ou mais sofisticado que o outro, mas sim qual dos tipos terá melhor desempenho, considerando a tensão do banco de baterias, o arranjo fotovoltaico montado e o efeito da temperatura sobre a tensão fornecida por ele.

A especificação de um controlador de carga deve estar condizente também com o tipo de bateria a ser utilizada, controladores projetados para baterias do tipo chumbo-ácido podem não ser adequados para baterias de íons de lítio.

Vale ressaltar que a escolha entre um tipo ou outro de controlador irá influenciar no dimensionamento do arranjo FV e conseqüentemente no custo do sistema, o que deve ser objeto de análise por parte do Agente Executor.

### **5.3 Inversores**

Inversores são dispositivos eletrônicos que fornecem energia elétrica em CA, a partir de uma fonte de energia elétrica em CC. Os principais aspectos que determinam a qualidade de um inversor são: sua forma de onda e sua eficiência de conversão.

Conforme Portaria nº 004 de 04/01/2011 do INMETRO, revisada pela Portaria nº 357 de 01/08/2014, os inversores para aplicação em sistemas fotovoltaicos, devem apresentar forma de onda senoidal pura, eficiência superior a 85% na faixa entre 50% e 100% da potência nominal. A distorção harmônica total deverá ser menor que 5% em qualquer potência de operação.

Os inversores também devem possuir as demais características [Pinho e Galdino, 2014]:

- Alta confiabilidade e baixa manutenção;
- Operação em uma faixa ampla de tensão de entrada;
- Boa regulação na tensão da saída;

- Baixa emissão de interferência eletromagnética e de ruído audível;
- Tolerância aos surtos de partida das cargas a serem alimentadas;
- Segurança para pessoas e instalações;
- Grau de proteção IP adequado ao tipo de instalação;
- Garantia de fábrica de pelo menos 2 anos.

#### **5.4 Equipamentos Integrados (Inversor/Controlador de Carga)**

Uma outra opção para atendimento às áreas remotas, seria a utilização de equipamentos que agregam as funções de inversores de onda senoidal pura e de um controlador de carga.

Trata-se de equipamentos que vem despontando como uma alternativa para implantação nos sistemas de geração fotovoltaica em relação à implantação de equipamentos em separado.

A escolha entre equipamentos de forma integrada ou em separado deverá ser feita pelo Agente Executor, observando o dimensionamento dos arranjos fotovoltaicos e do banco de baterias, as especificações dos equipamentos disponíveis no mercado e os impactos no custo do sistema, já que para sistemas de menor porte pode não se encontrar equipamento integrado adequado no mercado, resultando em sobredimensionamento e onerando os custos do sistema quando comparado à aquisição de equipamentos independentes.

#### **5.5 Baterias**

Em sistemas fotovoltaicos isolados da rede elétrica, pela própria natureza intermitente da fonte energética, o uso de dispositivos de armazenamento de energia faz-se necessário para um atendimento ininterrupto à demanda. Nesse contexto, as baterias

eletroquímicas são os dispositivos mais amplamente utilizados, por serem uma forma conveniente e eficaz de armazenamento de energia.

As baterias fotovoltaicas são próprias para ciclagem diária de profundidade rasa a moderada, podendo ser solicitadas a suportarem descargas profundas em dias nublados ou chuvosos, devido à ausência da geração FV. Os tipos de bateria mais empregados para sistemas fotovoltaicos atualmente são as baterias estacionárias chumbo-ácidas e as de íons de lítio.

#### 5.5.1 Baterias estacionárias do tipo chumbo-ácido

Baterias chumbo-ácidas são as baterias recarregáveis mais antigas encontradas no mercado e até hoje permanecem como as preferidas em muitas aplicações devido a sua robustez e seu baixo custo.

Essas baterias podem ser encontradas em diversas versões. As mais comuns são as ventiladas, que usam eletrólito líquido e as seladas reguladas por válvula (VRLA) que podem ter eletrólito em gel ou eletrólito embebido em manta de fibra de vidro (conhecidas como AGM).

As baterias ventiladas denominadas OPzS (*Ortsfest Panzerplatte Spezial*), seguem o modelo construtivo da norma alemã DIN 40.736-1 e apresentam placas positivas tubulares, eletrólito de solução de ácido sulfúrico, vaso termoplástico transparente e dimensões padronizadas, resultando em uma construção robusta para regime de ciclagem diária. Requerem reposição periódica de eletrólito (água desmineralizada) e têm vida útil projetada superior aos modelos de placas positivas planas.

As baterias seladas reguladas a válvula denominadas OPzV (*Ortsfest Panzerplatte Verschlussen*), são livres de manutenção, com placas positivas tubulares, eletrólito imobilizado e vaso opaco. Comparadas a OPzS, embora não precisem de reposição de

eletrólito, as baterias OPzV são mais sensíveis a temperaturas elevadas que as OPzS, estima-se que a cada 10°C de elevação da temperatura, a vida útil cai à metade.

Uma outra versão de bateria chumbo-ácida é a bateria de chumbo-carbono. Materiais à base de carbono adicionados aos eletrodos proporcionam correntes de carga e descarga mais elevadas, maior densidade de energia e vida útil prolongada.

Uma vantagem das baterias chumbo-ácidas (em qualquer de suas variações) é que não precisam de um sistema de gerenciamento de carga sofisticado, como é o caso das baterias de lítio.

#### 5.5.2 Baterias estacionárias do tipo íons de lítio

A tecnologia de baterias com compostos de lítio é a que mais cresce no mercado. Estimulado pelo crescimento de veículos elétricos na frota mundial, o custo destas baterias teve uma queda brusca nos últimos anos e, embora já amplamente utilizadas na Europa, começam a ser aplicadas atualmente em projetos de sistemas FV no Brasil, sejam de grandes sistemas conectados à rede quanto em microssistemas isolados.

As baterias de lítio têm como principais características: alta densidade de energia (são menores e mais leves, portanto, reduzindo custos com transporte), possibilidade de recarga e descarga rápida, alta eficiência, baixas perdas de capacidade durante o armazenamento, elevado número de ciclos e, por questões de segurança, a necessidade de operar com um circuito eletrônico de controle e monitoramento, o BMS (*Battery Management System*).

É recomendável que seja realizada uma análise de viabilidade econômica para a escolha do tipo de bateria a ser empregado no projeto. Essa análise não deve ser feita apenas com base no custo de aquisição do banco, mas também com base nos custos de O&M,

que abrangem custos de reposição ao longo do ciclo de vida do projeto, custos com visitas para manutenções preventivas e corretivas, logística para descarte etc.

## 5.6 Requisitos Técnicos dos Principais Equipamentos

Os componentes dos sistemas SIGFI/MIGDI devem atender às exigências das normas expedidas pelos órgãos oficiais competentes, pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem do Instituto Nacional de Metrologia.

Todos os equipamentos devem ter certificação do INMETRO conforme Portaria Nº 004 de 04/01/2014 ou outra organização credenciada pelo Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – CONMETRO.

Cabe ressaltar que as baterias de íons de lítio não são abrangidas por esta regulamentação do INMETRO. Nesse caso, não há restrições quanto a sua fabricação, importação e comercialização no país. Contudo, os produtos comercializados no país devem estar em conformidade com as normas técnicas da ABNT ou em conformidade com algum outro órgão regulamentador, quando houver, tendo em vista que se estabeleça critérios mínimos de qualidade, eficiência e segurança, conforme condições estabelecidas e asseguradas pelo Agente Executor, responsável pela proposta apresentada à Eletrobras.

Entretanto, neste momento a **Portaria Nº 004 de 04/01/2014 do INMETRO encontra-se em processo de revisão**. Após a concretização da revisão e as baterias de lítio forem incluídas na nova regulamentação, somente poderão ser fabricadas, importadas e comercializadas baterias em conformidade com o estabelecido pelo INMETRO.

O setor de geração de energia fotovoltaica está em constante evolução tecnológica. Desse modo, novos equipamentos podem se tornar viáveis técnico-economicamente

para adoção nos Programas LPT e MLA. Portanto, novas tecnologias não devem ser descartadas e podem ser consideradas, sendo, contudo, objetos de análise pela Eletrobras.

## **6 Dimensionamento de SIGFI e MIGDI**

Para que um sistema fotovoltaico, ao entrar em operação, disponibilize o montante de energia esperado, com garantia dos níveis de qualidade e confiabilidade regulatórios, um dimensionamento criterioso de seus componentes precisa ser realizado. Para esse cálculo, além do modelo matemático que representa sua operação, faz-se necessária a adoção de algumas premissas, uma vez que medições não são disponíveis nesta etapa. Ademais, requisitos da legislação vigente (Resoluções Normativas da ANEEL, Portarias do INMETRO etc) e estratégias de custos de operação e manutenção também precisam ser levados em consideração.

Os MIGDIs deverão ser dimensionados considerando-se também a quantidade de UCs a serem atendidas e a disponibilidade energética mensal de cada UC.

### **6.1 Metodologia de Cálculo**

A metodologia adotada como de referência da Eletrobras consiste no dimensionamento de sistemas fotovoltaicos isolados pelo **Método do Mês Crítico**. Este modelo baseia-se no balanço de energia durante o período do ano no qual ocorrem as condições médias mais desfavoráveis para o sistema. Desse modo, se o sistema funcionar adequadamente nesse período, isso ocorrerá também nos demais meses do ano, atendendo aos requisitos de disponibilidade de energia da REN 493/2012 da ANEEL.

Existem várias outras metodologias apresentadas em trabalhos e procedimentos, porém todas muito similares a esta considerada. Portanto, a apresentação pelos Agentes

Executores de outras formulações não invalida a adoção da metodologia ora apresentada.

### 6.1.1 Dimensionamento do Banco de Baterias

O dimensionamento dos bancos de baterias de SIGFIs/MIGDIs pode ser realizado de acordo com a seguinte equação:

$$\text{Capacidade (Wh)} = \frac{\text{Consumo}_{CA} \text{ (Wh/dia)} \cdot \text{Autonomia (dias)}}{\eta_{CC/CA} \cdot \text{DOD}_{Max} \cdot \text{Capacidade}_{EOL}} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

**Consumo<sub>CA</sub>** – consumo diário de referência

**Autonomia** – corresponde ao período de tempo em que o sistema será suprido pela energia armazenada pelo banco de baterias

$\eta_{CC/CA}$  - eficiência total entre o consumo em CC no banco de baterias e o consumo em CA

**DoD<sub>Max</sub>** – profundidade de descarga máxima do banco de baterias

**Capacidade<sub>EOL</sub>** - capacidade energética nominal do banco de baterias

Os critérios de dimensionamentos apresentados são válidos para baterias chumbo-ácidas de placas positivas planas, de placas positivas tubulares e para baterias de íons de lítio.

### 6.1.2 Dimensionamento do Arranjo Fotovoltaico

Conforme o Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos [Pinho e Galdino, 2014], serão apresentadas duas metodologias para o dimensionamento do arranjo FV: uma considerando o emprego de controladores de carga com tecnologia MPPT e outra com controladores de carga PWM.

Devido sua tecnologia de operação, o emprego de controladores MPPT acarreta menores portes de arranjos fotovoltaicos, enquanto controladores PWM resultam em um dimensionamento de arranjos maiores para uma mesma disponibilização de energia.

Desse modo, para formulação dos Programas de Obras, os Agentes Executores poderão adotar essas 2 metodologias dependendo do tipo de controlador apresentado.

#### Dimensionamento considerando controladores MPPT:

O dimensionamento do arranjo FV de SIGFIs/MIGDIs pode ser realizado de acordo com a seguinte equação:

$$Potência\ FV\ (W_p) = \frac{Consumo_{CA}(Wh/dia) \cdot STC(W/m^2)}{Irradiação(\frac{Wh}{m^2 \cdot dia}) \cdot PR} \quad (Eq. 2)$$

Onde:

**Consumo<sub>CA</sub>** – consumo diário de referência

**STC** – Condições Padrões de Medição (Standard Test Condition). Corresponde a 1.000W/m<sup>2</sup> de irradiação solar (1.5AM) a uma temperatura de 25°C

**Irradiação** – nível médio de irradiação solar global (referente ao mês crítico)

**PR** – Fator de Eficiência Conjunta do Sistema (Performance Ratio)

#### Dimensionamento considerando controladores PWM:

No caso de adoção de controladores PWM no Programa de Obras, a determinação da quantidade de módulos em série considera, além da tensão do sistema ( $V_{sist}$ ), a tensão de máxima potência destes módulos quando estiverem operando em temperatura mais elevada prevista para o módulo em uma dada localidade ( $V_{mpTmáx}$ ), o que normalmente é previsto em se tratando da região da Amazônia Legal e das demais de clima tropical.

$$N^{\circ}\ módulos_{série} = \frac{1,2\ V_{sist}}{V_{mpTmax}} \quad (Eq. 3)$$

O valor obtido na equação 3 deve ser arredondado para cima, respeitando a tensão máxima de entrada do controlador de carga.

É recomendado que o módulo a ser escolhido tenha o número de células adequado à tensão de operação do sistema ( $V_{sist}$ ).

A partir da definição do painel FV, calcula-se a corrente a ser gerada, por meio da seguinte equação:

$$I_m = \frac{P_m}{V_{sist}} \quad (Eq. 4)$$

A quantidade de módulos a serem conectados em paralelo pode ser então calculada:

$$N^{\circ} \text{módulos}_{\text{paralelo}} = \frac{I_m}{I_{mp}} \quad (Eq. 5)$$

O valor obtido na equação 5 deve ser arredondado para cima. Entretanto, se a quantidade de módulos em paralelo resultar em uma potência muito acima da potência calculada, é recomendado avaliar a escolha de outro módulo de potência unitária menor ou até mesmo avaliar a troca por controladores do tipo MPPT.

### 6.1.3 Dimensionamento do Controlador de Carga ou Inversor Fotovoltaico

O dimensionamento do controlador de carga deve levar em conta os limites máximos do controlador, seja PWM ou MPPT, com relação à tensão CC do sistema e à corrente elétrica, tanto na entrada do painel FV quanto na saída para as baterias. [Pinho e Galdino, 2014].

A corrente máxima do controlador é considerada a corrente de curto-circuito do painel FV, multiplicada pelo número de módulos em paralelo, acrescida de um fator mínimo de segurança  $F_s$ .

$$I_C = F_s \times N^{\circ} \text{módulos e paralelo} \times I_{SC} \quad (Eq. 6)$$

Fontes de pesquisa indicam valores diferentes para esse Fator de Segurança. Conforme (C. Alvarenga, M.Filho, 2009), é recomendado 10%; já (Pinho e Galdino, 2014) indica um percentual de 25%.

Outro ponto a ser observado na escolha do controlador é a potência máxima do arranjo. Esse dado é apresentado nas folhas de especificações dos fabricantes para cada tensão CC de sistema, exemplificado na Figura 8 a seguir.

<b>NEC Recommended Solar Maximum Array STC Nameplate</b>	<b>12VDC systems: 1000W / 24VDC systems: 2000W 48VDC systems: 4000W / 60VDC systems: 5000W</b>
--	--

*Figura 8 – Exemplos de potências máximas de entrada de um controlador*

De igual modo, o dimensionamento do inversor fotovoltaico (barramento CA) depende das características elétricas dos painéis fotovoltaicos selecionados. Além de uma tensão contínua de operação determinada, deve ser considerada a máxima corrente que pode ser fornecida pelos módulos fotovoltaicos (corrente de curto-circuito).

Na escolha do controlador, além da tensão CC de operação do sistema e a máxima corrente fornecida pelo painel fotovoltaico dimensionado, também deve ser levada em consideração a relação entre a tensão CC do sistema e a tensão CC do arranjo fotovoltaico ajustada para as temperaturas máximas e mínimas em que as células deste irão operar.

Os fabricantes de controladores fornecem ferramentas para verificar a compatibilidade do arranjo fotovoltaico com seus equipamentos, bem como informar a associação que resulta em melhor desempenho. Portanto, é essencial que seja feita uma simulação, de acordo com a orientação do fabricante, para garantir o melhor desempenho do sistema.

A seguir são apresentadas algumas das ferramentas disponibilizadas e estão aqui apenas a título de exemplo, dos seguintes fabricantes:

- *Mornigstar String Calculator*, disponível em:  
<http://string-calculator.morningstarcorp.com>;
- *Ouback String Sizing Tool*, disponível em:  
<https://www.outbackpower.com/resources/technical-support/string-sizing-tool>;
- *Victor Energy*, disponível em:  
<https://www.victronenergy.pt/solar-charge-controllers>.

Exemplo de dimensionamento de um controlador de carga:

Módulos de 400 W<sub>p</sub>, para uso em barramento de 48 V, junto às baterias, com um valor de corrente de curto-circuito de 10,79 A, sendo conectados em 2 *strings* com 2 módulos em série cada, totalizando uma potência nominal de 1.600 W<sub>p</sub>. Assim, a corrente de entrada máxima do controlador de carga, para um fator de segurança de 10%, seria:

$$I_C = 1,10 \times 2 \times 10,79 = 23,74 \text{ A} \quad (\text{Eq. 7})$$

Exemplo de dimensionamento de um inversor fotovoltaico:

Módulos de 250 W<sub>p</sub>, com um valor de corrente de curto-circuito de 8,5 A e um valor de tensão de circuito aberto de 40 V, sendo conectados em um *string* com 10 módulos em série e potência nominal (com 1 inversor fotovoltaico por *string*) de 2.500W<sub>p</sub>:

Corrente de entrada máxima do inversor fotovoltaico:

$$\begin{aligned} I &> 8,5\text{A} \times 1,1 \\ I &> 9,35\text{A} \end{aligned} \quad (\text{Eq. 8})$$

Tensão de entrada máxima:

$$\begin{aligned} V &> 40V \times 10 \text{ módulos em série} \\ V &> 400V \end{aligned}$$

(Eq. 9)

Observação: comprovar igualmente que a tensão nominal dos módulos FV conectados em série esteja dentro do âmbito de tensão nominal de operação do Inversor.

Potência nominal do inversor fotovoltaico:

$$P = 2500W$$

(Eq. 10)

#### 6.1.4 Dimensionamento do Inversor de Bateria

Na seleção dos inversores, devem ser considerados exclusivamente equipamentos de alta eficiência ao longo de toda a faixa de operação e que tenham um autoconsumo baixo, já que este elemento pode ser fonte de grandes perdas elétricas e comprometer o correto funcionamento de todo o sistema. Cabe lembrar, também, que a tensão CC de entrada do inversor de bateria deve corresponder à tensão nominal do banco de baterias.

*Em se tratando de SIGFIs, destaca-se a importância de, resguardando-se a relação de melhor custo/benefício, não dimensionar o inversor de bateria muito acima dos valores estabelecidos pela Resolução ANEEL 493/2012, apresentados na*

Tabela 1. Dessa forma, evita-se que o inversor trabalhe fora de sua faixa de maior eficiência.

*Tabela 1 – Potências mínimas conforme REN 493/2012*

Disponibilidade Mensal Garantida (kWh/mêsUC)	Consumo de Referência (Wh/dia/UC)	Potência Mínima (W/UC)
45	1.500	700
60	2.000	1.000
80	2.650	1.250

Vale ressaltar que **esta resolução está atualmente em fase de revisão pela ANEEL**, passando por consulta pública<sup>2</sup> e um dos itens propostos diz respeito à alteração da Tabela 1, com a inclusão dos valores de 120 e 180 kWh/mês.UC de disponibilidade mensal garantida.

No caso do MIGDI, o fato de existir o atendimento simultâneo a várias UCs acarreta uma distribuição temporal das cargas elétricas. Ao se considerar essa distribuição evita-se o superdimensionamento do inversor de bateria.

Vale destacar que a não consideração da distribuição das cargas leva a um sobrecusto do investimento, tanto pelo maior custo do próprio inversor como pela necessidade de aumentar o banco de baterias e o gerador fotovoltaico, como consequência da menor eficiência do equipamento operando muito abaixo da sua potência nominal.

Diante disso, dada a escassez de informações sobre a curva de carga neste tipo de atendimento e levando em conta a diversidade das comunidades em relação ao uso da energia elétrica, foi estabelecida a adoção de um **fator de diversidade** de 0,5 a ser aplicada sobre os valores de potência mínima da

Tabela 1 conforme a disponibilidade mensal garantida a cada UC.

---

<sup>2</sup> Consulta Pública CP-018/2021

Caso o Agente Executor apresente no Programa de Obras a curva de carga típica das unidades consumidoras a serem atendidas, a critério da Eletrobras, há a opção de se adotar como referência a demanda máxima da curva apresentada.

#### Exemplo de dimensionamento de um inversor de bateria:

Potência mínima do inversor de bateria de um MIGDI que disponibiliza 45 kWh/mês a cada uma das 24 UCs que atende:

$$P = 24UCs \times 700W \times 0,5$$

$$P = 8.400W$$

(Eq. 11)

## 7 Critérios Adotados para o Dimensionamento

A seguir serão apresentados todos os critérios adotados pela Eletrobras para o dimensionamento dos sistemas SIGFI e MIGDI na análise técnica de programas de obras dos Programas LPT e MLA, que poderão ser tomados como base pelos Agentes Executores.

### 7.1 Irradiação Solar

O valor de irradiação solar a ser adotado para elaboração dos Programas de Obras deverá corresponder ao valor médio de irradiação solar global (em Wh/m<sup>2</sup>/dia), **do mês mais crítico (menor valor entre os 12 meses do ano)**, para o município de abrangência do PO. Em caso de vários municípios de abrangência, deverá ser adotado o menor valor entre eles.

Esse valor preferencialmente deverá corresponder à irradiação na inclinação igual à da latitude do local (com um valor mínimo de 10°). Caso não tenha esse valor disponível, poderá ser considerada a irradiação no plano horizontal.

Esse dado poderá ser obtido por meio do Programa *SunData*, cuja base de dados tem como fonte o *Atlas Brasileiro de Energia Solar* em sua 2ª edição (2017). O *SunData* é acessado por meio de pesquisa ao site do CRESESB (<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>).

A adoção do valor da **irradiação média do pior mês** se motiva no fato de garantir que a disponibilidade mensal mínima calculada de energia seja entregue às unidades consumidoras durante todo o ano.

No que se refere à montagem do arranjo FV, recomenda-se que estejam voltados para o **hemisfério oposto** (abaixo do Equador voltados para o Hemisfério Norte e acima do Equador voltados para o Hemisfério Sul) ao da instalação e inclinados no **mínimo 10°**, para evitar acúmulo de resíduos e permitir o escoamento da água. Também **deve ser evitada ao máximo a instalação em locais que acarretem sombreamento do arranjo FV** ao longo do dia.

A Figura 9 mostra um exemplo de consulta ao *SunData*, a qual indicou a adoção de uma irradiação solar global de 4,54 kWh/m<sup>2</sup>.dia para o município de Cururupu- MA (visto que a latitude é inferior à 10°, foi adotada a irradiação do plano horizontal).



Figura 9 – Irradiação solar global do município de Cururupu - MA

Caso o Agente Executor tenha disponível série histórica de irradiação solar na região de abrangência do PO poderá utilizá-la para a obtenção do valor de irradiação do mês mais crítico.

Irradiação (Wh/m <sup>2</sup> .dia)	Valor médio de irradiação solar global, do mês mais crítico ( <b>menor valor entre os 12 meses do ano e entre os municípios de abrangência do PO</b> )
--	--

## 7.2 Eficiência dos Equipamentos

A escolha por quais equipamentos adotar nos Programas de Obras fica a critério dos Agentes Executores. Porém, a eficiência de tais equipamentos deve atender aos requisitos da legislação vigente. Os valores de eficiências considerados nos cálculos do dimensionamento dos sistemas são listados a seguir.

### 7.2.1 Eficiência do Arranjo Fotovoltaico ( $\eta_{FV}$ )

Este valor de eficiência inclui vários fatores de difícil estimação e alta variabilidade no tempo, como: tolerância sobre a potência nominal, alta temperatura, menor eficiência em baixas condições de radiação, eventual sombreamento, sedimentação de pó ou pequenas folhas nos painéis e envelhecimento dos painéis.



Figura 10 – Módulo fotovoltaico coberto por poeira (Fonte: Página da Internet<sup>3</sup>)



Figura 11 – Módulo fotovoltaico afetado por sombreamento (Fonte: Página da Internet<sup>4</sup>)

O valor adotado nas análises de referência Eletrobras é de 70%.

$\eta_{FV}$ (sugerido)	70%
------------------------	-----

### 7.2.2 Eficiência do Controlador de Carga ( $\eta_{Con}$ )

Corresponde especificamente à eficiência expressa em *datasheet* do controlador de carga adotado como equipamento de referência pelo Agente Executor no Programa de Obras.

$\eta_{Con}$	Valor (%) expresso no <i>datasheet</i> do equipamento adotado como referência para o PO
--------------	---

<sup>3</sup> Disponível em: < <https://genyx.com.br/eficiencia-do-modulo-solar>>. Acesso em: 28 de out. de 2021.

<sup>4</sup> Disponível em: < <https://www.alternative-energy-tutorials.com/photovoltaics/bypass-diode.html>>. Acesso em: 28 de out. de 2021.

### 7.2.3 Eficiência do Inversor de Bateria ( $\eta_{IFR}$ )

Corresponde especificamente à eficiência expressa em *datasheet* do inversor de bateria adotado como equipamento de referência pelo Agente Executor no Programa de Obras.

Geralmente, inversores de SIGFIs apresentam menor valor de eficiência quando comparados aos inversores de MIGDIs, devido ao menor porte dos equipamentos.

$\eta_{IFR}$	Valor (%) expresso no <i>datasheet</i> do equipamento adotado como referência para o PO
--------------	---

### 7.2.4 Eficiência do Inversor Fotovoltaico ( $\eta_{IFV}$ )

Corresponde especificamente à eficiência expressa em *datasheet* do inversor fotovoltaico adotado como equipamento de referência pelo Agente Executor no Programa de Obras.

$\eta_{IFV}$ (%)	Valor (%) expresso no <i>datasheet</i> do equipamento adotado como referência para o PO
---------------------	---

### 7.2.5 Eficiência do Banco de Baterias ( $\eta_{Bat}$ )

Corresponde à eficiência média de carga e descarga, expressa em *datasheet*, da bateria adotada como equipamento de referência pelo Agente Executor no Programa de Obras.

Atualmente, os valores médios de eficiência para alguns tipos de baterias são:

- Para baterias estacionárias de placas positivas planas:  $\eta_{Bat} = 86\%$ ;
- Para baterias estacionárias de placas positivas tubulares:  $\eta_{Bat} = 86\%$ ;
- Para baterias de lítio (LFP):  $\eta_{Bat} = 98\%$

$\eta_{Bat}$	Valor (%) expresso no <i>datasheet</i> do equipamento adotado como referência para o PO
--------------	---

## 7.3 Eficiência dos Processos de Armazenamento, Transmissão e Conversão de Energia

### 7.3.1 Eficiência Total entre o Consumo CC e o Consumo CA ( $\eta_{CC/CA}$ )

Essa eficiência considera as perdas na descarga da bateria, as perdas na conversão CC/CA (inversor de bateria) e perdas elétricas nas transmissões.

Assim, seu valor é obtido pela equação a seguir:

$$\eta_{CC/CA} = \eta_{bat} + \eta_{IFR} + \eta_{Tr} \quad (Eq. 12)$$

Onde:

$\eta_{bat}$  – eficiência do banco de baterias

$\eta_{IFR}$  – eficiência do inversor de bateria

$\eta_{Tr}$  – eficiência nas transmissões

### 7.3.2 Eficiência do Processo de Armazenamento e Conversão de Energia ( $\eta_{CC/CC}$ ou $\eta_{CA/CA}$ )

Para a referência Eletrobras, essa eficiência corresponde à eficiência total do processo com relação à energia gerada que é armazenada antes de ser consumida. No caso de SIGFI ou MIGDI-CC, refere-se ao processo de armazenamento no banco de baterias. No caso de MIGDI-CA refere-se ao processo de armazenamento no banco de baterias e de conversão CA/CC (inversor de bateria).

O valor adotado é obtido pela equação a seguir:

$$\eta_{CC/CC} = \eta_{Bat}(1 - F_{CD}) + F_{CD}$$

(Eq. 13)

Onde:

$\eta_{bat}$  – eficiência do banco de baterias

$F_{CD}$  -fator de consumo direto

### 7.3.3 Eficiência nas Transmissões CC/CA ( $\eta_{Tr}$ )

Corresponde à eficiência nas transmissões CC/CA, ou seja, leva em consideração as perdas nos condutores do sistema.

Ressalta-se que nos dimensionamentos de MIGDIs essa eficiência é menor, devido ao valor mais elevado das perdas de transmissão destes sistemas quando em comparação ao dimensionamento de SIGFIs. Isso se deve às perdas nos condutores das minirredes, entre a usina fotovoltaica e as diferentes unidades consumidoras, inexistente nos SIGFIs.



Figura 12 – Minirrede de um MIGDI – município de Turiacu/MA (Fonte: Acervo Eletrobras)

Os valores adotados nas análises de referência Eletrobras são: 95% para SIGFI e 90% para MIGDI.

$\eta_{Tr}$ (sugerido)	Para SIGFI: 95%
	Para MIGDI: 90%

#### 7.3.4 Performance Ratio (PR)

Corresponde ao fator da eficiência conjunta do sistema. É definido como a fração entre o valor da energia entregue à unidade consumidora e o valor máximo da energia solar disponível ao arranjo fotovoltaico que poderia ter sido capturada pelo mesmo, em STC – *Standard Test Conditions* (Condições Padrões de Medição, ou seja, 1.000 W de irradiação solar (1.5AM) por m<sup>2</sup>, mantendo o painel fotovoltaico a temperatura de 25°C).

Seu valor vai depender do tipo de configuração do sistema. Para sistemas acoplados usando um barramento ou acoplamento CC, é usado:

$$PR = \eta_{FV} \cdot \eta_{Con} \cdot \eta_{CC/CC} \cdot \eta_{IFR} \cdot \eta_{Tr}$$

(Eq. 14)

Onde:

$\eta_{FV}$  - eficiência do arranjo fotovoltaico

$\eta_{Con}$  - eficiência do controlador de carga

$\eta_{CC/CC}$  - eficiência do processo de armazenamento e conversão de energia

$\eta_{IFR}$  - eficiência do inversor de bateria

$\eta_{Tr}$  - eficiência nas transmissões

No caso de sistemas acoplados usando um barramento CA, é adotado:

$$PR = \eta_{FV} \cdot \eta_{IFV} \cdot \eta_{CA/CA} \cdot \eta_{Tr}$$

(Eq. 15)

Onde:

$\eta_{FV}$  - eficiência do arranjo fotovoltaico

$\eta_{IFV}$  - eficiência do inversor fotovoltaico

$\eta_{CA/CA}$  - eficiência do processo de armazenamento e conversão de energia

$\eta_{Tr}$  - eficiência nas transmissões

## 7.4 Autonomia do Banco de Baterias

Conforme Resolução Normativa 493/2012 da ANEEL, sistemas MIGDI ou SIGFI devem apresentar autonomia mínima de 48 horas.

Vale ressaltar que esta resolução **está atualmente em fase de revisão pela ANEEL**, passando por consulta pública<sup>5</sup> e um dos itens propostos diz respeito à redução da autonomia dos sistemas MIGDI e SIGFI para 36 horas para a fonte solar.

Até que a nova regulamentação seja publicada, de modo extraordinário, o MME emitiu o Ofício Nº 81/2021/DPUE/SEE-MME em 26/10/2021, no qual se manifestou para que seja acatada uma autonomia mínima das baterias dos sistemas de geração para 36 horas, considerando a menor irradiação solar diária da série histórica dos últimos 3 anos do local em que o sistema será instalado, para POs no âmbito do Programa MLA.

## 7.5 Profundidade de Descarga do Banco de Baterias ( $DoD_{Máx}$ )

A profundidade de descarga de um banco de baterias é o valor complementar do estado da carga. Indica em termos percentuais, quanto da capacidade nominal da bateria foi retirado a partir do estado de plena carga. Por exemplo, a remoção de 25 Ah de uma bateria de capacidade nominal de 100 Ah resulta em uma profundidade de descarga de 25%.

A profundidade máxima adotada como referência pela Eletrobras varia para cada tipo de bateria, com base em recomendações dos fabricantes, visando evitar descargas profundas, preservar sua vida útil e consequentemente obter menores custos de manutenção. Os valores a seguir poderão ser adotados pelos Agentes Executores.

---

<sup>5</sup> Consulta Pública CP-018/2021.

DOD <sub>Máx</sub> (sugerido)	Para baterias Pb-ácido de placas positivas planas: <b>40%</b>
	Para baterias Pb-ácido com carbono: <b>50%</b>
	Para baterias Pb-ácido de placas positivas tubulares: <b>60%</b>
	Para baterias de Lí-íon: <b>90%</b>

## 7.6 Capacidade *End-of-Life* do Banco de Baterias

O fim da vida útil (*End-of-Life*) de uma bateria é definido quando a capacidade da bateria chega a 80% da capacidade nominal. Foi estabelecido para as análises técnicas da Eletrobras um valor igual a 0,9 que implica que o banco de baterias estará superdimensionado em cerca de 10% no início de sua operação.

Capacidade <sub>EOL</sub> (sugerido)	0,9
--------------------------------------	-----

## 7.7 Fator de Consumo Direto ( $F_{CD}$ )

Este fator considera que parte da geração fotovoltaica é consumida diretamente pelas cargas no barramento CA, sem necessidade de armazenamento pelo banco de baterias e economizando, portanto, a conversão CC/CA (inversor formador de rede). Será usado somente no dimensionamento de sistemas acoplados usando um barramento CA, pelo seu maior impacto nesta configuração. Caso o Agente Executor não tenha esse valor levantado, face à dificuldade e aos custos envolvidos no levantamento de uma estimativa de curva de carga típica das unidades consumidoras a serem atendidas, adota-se para a referência Eletrobras um fator  $F_{CD}=0,25$ , o que significa considerar que 25% da geração será consumida pelas cargas durante o dia.

F <sub>CD</sub> (sugerido)	0,25
----------------------------	------

## 7.8 Regime de Descarga do Banco de Baterias

O regime de descarga de bancos de baterias varia de acordo com a profundidade máxima de descarga e com a autonomia consideradas para o projeto.

Considerando que, de forma geral, os catálogos dos fabricantes apresentam as capacidades nominais das baterias chumbo-ácidas em regime de C10 ou C20 e que o documento do INMETRO "Tabelas de Consumo/Eficiência Energética - Componentes Fotovoltaicos - BATERIAS - Edição 07/11" usa como padrão o regime C20, recomendamos que este seja o regime de descarga adotado para esse tipo de baterias no âmbito dos Programas LPT e MLA.

De acordo com Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (CRESESB, 2014) é definido o seguinte fator de conversão para a capacidade energética nominal mínima do banco de baterias:

$$\text{Capacidade do Banco}_{C20} (Wh) = 1,1 \times \text{Capacidade do Banco}_{C10} (Wh) \quad (\text{Eq. 16})$$

Para baterias de íons de lítio, o regime de descarga adotado como referência para a capacidade do banco de baterias é o regime C5.

## 8 Composição Orçamentária dos Programas de Obras

O valor do investimento total apresentado no PO deve corresponder aos custos diretos e indiretos de implantação das obras.

Os custos diretos são compostos pelas rubricas Material, Mão de Obra de Terceiros e Transporte de Terceiros. Já os custos indiretos são contabilizados na rubrica Engenharia/Administração. A seguir será detalhada cada rubrica e como deverá ser apresentada nos POs.

## 8.1 Rubrica Material

A rubrica material é composta pelo somatório dos custos das seguintes parcelas:

- Arranjo fotovoltaico;
- Inversores e dos controladores ou custo dos equipamentos integrados de condicionamento de potência, se for o caso;
- Banco de Baterias;
- Materiais acessórios (estruturas para fixação do arranjo fotovoltaico, ferragens, conectores, cabos de conexão entre os equipamentos etc.);
- *kit* de instalação interna.

Além dos custos de materiais referentes ao sistema de geração e ao *kit* de instalação interna, outros segmentos podem compor a rubrica material do Programa de Obras apresentado pelo Agente Executor:

- Padrão de entrada;
- Minirrede BT;
- Obra civil;
- Sistema de Supervisão e Controle;
- Sistema de Coleta de Dados Operacionais – SCD; e
- Sistema de Comunicação Local e/ou Remota.

## **8.2 Rubrica Mão de Obra de Terceiros**

O custo da rubrica Mão de Obra deve ser calculado como a soma dos custos da **Mão de Obra de Implantação dos Sistemas** com os custos de **Transporte de Pessoal** dos profissionais das equipes de implantação em campo e de apoio administrativo.

No caso de POs com sistemas MIGDI, esta rubrica envolve também os custos relativos aos serviços necessários de obra civil.

### *8.2.1 Mão de Obra de Implantação dos Sistemas*

No memorial descritivo, o Agente Executor deverá descrever detalhadamente a logística adotada para implantação dos sistemas SIGFI e MIGDI a serem apresentados no PO, podendo a memória de cálculo ser enviada em arquivo auxiliar à parte.

Neste contexto, deverão ser descritos:

- A composição das equipes de campo (tipos de profissionais);
- O dimensionamento da quantidade de equipes; e
- A logística de hospedagem e alimentação das equipes.

O dimensionamento do número de equipes necessárias para atendimento da totalidade dos sistemas de geração, deverá ser realizado considerando:

- O número de horas diárias de trabalho da equipe de campo;
- O número de dias úteis por mês, incluindo a folga das equipes;
- O cronograma de execução do PO; e
- A produtividade diária de cada equipe, incluindo o tempo com o deslocamento.

A produtividade de cada equipe corresponde ao número de horas necessárias para implantação de um único sistema SIGFI ou MIGDI. Para o cálculo do tempo gasto com o

deslocamento, pode ser considerado um tempo médio de deslocamento até a comunidade ou até as unidades consumidoras.

Para a implantação dos sistemas de geração, além da equipe de campo, é necessário o Agente Executor informar o custo da equipe de apoio administrativo (composta por profissionais como gerente administrativo, auxiliar administrativo, técnico de segurança do trabalho, almoxarife, agente de segurança patrimonial etc.) podendo ser um percentual sobre o valor da mão de obra da equipe de campo. Vale ressaltar que se esse custo for expressivo, o Agente Executor deverá descrever a composição da equipe de apoio administrativo, informando os custos envolvidos (salários, tempo de permanência no projeto, hospedagem, alimentação etc.).

No PO, na planilha de Mão de Obra de Geração, o preenchimento dos campos deverá estar compatível com o memorial descritivo e com a eventual planilha auxiliar, enviada como memória de cálculo.

Ainda no PO, o campo relativo à quantidade média de diárias deve ser a razão entre as horas trabalhadas por sistema e a quantidade de horas trabalhadas por dia. O preenchimento desse campo depende da logística adotada para o alojamento e alimentação das equipes. Como exemplo, no caso de adoção de "barco hotel", não deverá ser considerado custo com diárias, uma vez que já estaria contabilizado no aluguel mensal do barco na rubrica Transporte de Pessoal.

### *8.2.2 Transporte de Pessoal*

O transporte de pessoal em áreas remotas é de grande especificidade e seu custo é muito variável dependendo da localização, dificuldade de acesso e da logística adotada. Desse modo, no memorial descritivo, o Agente Executor deverá descrever detalhadamente a logística adotada para o transporte de toda a equipe incluindo as seguintes informações:

- Os tipos de transporte (terrestre, aéreo ou fluvial) a serem utilizados;
- Os meios de transporte considerados em cada trecho, bem como os custos associados;
- O local onde a equipe ficará alojada;
- As distâncias percorridas e o tempo de viagem;
- A quantidade de viagens das equipes durante o período das obras;
- A necessidade de aluguel de alojamentos / barco hotel.

A memória de cálculo para obtenção das informações a serem preenchidas no PO, poderá ser enviada em arquivo auxiliar à parte.

Deverão ser enviadas cotações com empresas de transporte, notas fiscais, contratos realizados e/ou demais documentações que embasem os custos de cada tipo de transporte necessário.

### **8.3 Rubrica Transporte de Terceiros**

De modo similar ao transporte de pessoal, o serviço para transporte de carga em áreas remotas também é muito particular e complexo, sendo seu custo dependente da localização, dificuldade de acesso e da logística adotada.

Essa rubrica compreende os custos do transporte de materiais e equipamentos, desde o almoxarifado central onde os materiais serão entregues pelos fornecedores até o local das obras.

No memorial descritivo, o Agente Executor deverá descrever detalhadamente a logística adotada para esse transporte incluindo as seguintes informações:

- Municípios dos almoxarifados centrais e/ou regionais;
- Tipos de transporte (terrestre, fluvial ou aéreo) a serem utilizados;

- Meios de transporte considerados em cada trecho, indicando a capacidade (em toneladas), o percentual de carregamento e os custos associados, incluindo gastos com combustível;
- Distâncias percorridas e o tempo de viagem (de acordo com a velocidade do modal considerado);
- Necessidade de utilização de galpões ou quaisquer outras infraestruturas para armazenamento dos materiais;
- Peso dos materiais e equipamentos considerados.

A memória de cálculo para obtenção das informações a serem preenchidas no PO, poderá ser enviada em arquivo auxiliar à parte.

Deverão ser enviadas cotações de empresas de transporte, notas fiscais, contratos realizados e/ou demais documentações que embasem os custos de cada tipo de transporte necessário.

#### 8.4 Rubrica Engenharia/Administração

A rubrica Engenharia/Administração é composta pelos custos indiretos do Programa de Obras. Conforme os Manuais de Operacionalização dos Programas LPT e MLA, custos indiretos são os contabilizados pelos Agentes Executores, referentes a serviços próprios (administração e engenharia, incluindo projetos, fiscalização, topografia e tributos relacionados), mesmo que terceirizados, confecção e instalação de placas de obras, custos com a capacitação de usuários sobre o uso seguro e eficiente da energia elétrica e sobre a Tarifa Social, licenças ambientais e indenizações para passagem de redes.

Ainda conforme os Manuais, **“Os Custos Indiretos serão aceitos até o percentual da participação do capital próprio do Agente Executor no valor total do Programa de Obras**, estabelecido no Termo de Compromisso, limitado a 15% (quinze por cento) do valor total de custos diretos de cada módulo unitário, quando da aprovação do Programa de Obras”.

## **9 Componentes Específicos de Sistemas MIGDI**

### **9.1 Minirrede de Distribuição**

Parte integrante apenas dos MIGDIs, as redes de distribuição terão tipo de ligação (monofásica, bifásica ou trifásica) e características construtivas (redes convencionais com cabos nus ou redes multiplexadas, com postes de concreto, madeira ou fibra de vidro) a critério do Agente Executor.

Para sistemas de geração de pequeno porte e próximos à carga é recomendada a utilização de redes em baixa tensão (BT), devido à simplicidade técnica dessas redes, ao grau inferior de risco de acidentes e à baixa complexidade de procedimentos de segurança do trabalho, quando comparadas a redes em média tensão (MT).

A extensão da rede BT, mesmo trabalhando com seções maiores de condutores e sistemas trifásicos, deve considerar as limitações de queda de tensão determinadas no Módulo 8 – Qualidade de Energia do PRODIST/ANEEL. A memória de cálculo da queda de tensão na rede deverá ser enviada para análise.

### **9.2 Obras Civis**

As obras civis necessárias à instalação dos MIGDIs e SIGFIs (quando aplicáveis) deverão seguir os padrões exigidos pelas normas cabíveis, sendo de fundamental importância a apresentação no Programa de Obras da descrição considerando área construída, tipo de construção, tipo e geologia do terreno e desenho esquemático de toda estrutura, além de composição orçamentária dos seus custos.

Para a correta visualização e análise do projeto civil, torna-se necessária a disponibilização das plantas de locação da casa de comando, das estruturas dos painéis fotovoltaicos, além das plantas com cortes e detalhes construtivos de partes específicas

do projeto tais como: na casa de comando detalhando fundações, paredes e coberturas; detalhes construtivos nos conjuntos poço/torre caixa d'água e fossa/sumidouro; e detalhamento da cerca.

No caso de MIGDI, deve-se prever a adequação do terreno através de limpeza, nivelamento e demais atividades necessárias, bem como a delimitação da área ao redor da miniusina com a utilização de tela de alambrado ou outra solução de menor custo.

A descrição da construção para abrigo dos equipamentos e banco de baterias, deverá conter as seguintes especificações:

- Do material, se em alvenaria (cerâmica ou concreto), em madeira ou outro;
- Das estruturas, se terá estrutura em concreto armado, aço ou se será construída em alvenaria estrutural;
- Do tipo de fundação, se rasa do tipo sapata ou *radiers ou profunda (estacas)*;
- Do tipo de cobertura (telhado), se telha ondulada de fibrocimento ou cerâmica e teto com ou sem forro se em PVC ou madeira;
- Das portas, janelas e demais esquadrias, se de madeira, aço ou alumínio;
- Das paredes, se revestidas com reboco, massa, pintura ou outro tipo de revestimento;
- Do piso, se o acabamento contará com ou sem revestimento cerâmico e ou outros.

Destacamos que, conforme requisitos da norma NBR 16.404 para bateria chumbo-ácida estacionária ventilada, deve ser considerada a adoção de compartimentos em separado para as baterias e os equipamentos eletrônicos, preferencialmente com ventilação natural ou dispositivos sem consumo de energia, como exaustores eólicos, para remoção de gases nas salas de baterias e arrefecimento de outros equipamentos, podendo ser instalados, até mesmo aparelhos de ar-condicionado.

Objetivando reduzir os impactos ambientais é recomendada a elaboração de um plano para limpeza do terreno de construção e arredores para retirada dos dejetos da obra. Vale ressaltar que a composição orçamentária dos custos das obras civis é facilitada sobremaneira quando são utilizadas as composições já amplamente conhecidas e divulgadas com as de referência, em particular, contidas nas planilhas do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil - SINAPI. Além de poder planejar de forma mais aproximada da realidade da execução dos serviços, torna mais ágil a análise dos projetos propostos.

O detalhamento dos itens referentes às obras civis deverá constar no Memorial Descritivo do PO. A seguir, a título de referência, são listados os principais tópicos a serem apresentados. Esses podem ser suprimidos ou acrescidos de mais informações conforme projeto do Agente Executor.

#### Serviços Preliminares:

Em relação à casa de comando e a área ocupada pelos painéis, descrever os materiais, serviços constituintes e especificações, casa de comando e estruturas de sustentação dos painéis obedecendo-se às medidas do projeto de arquitetura e a disposição dos painéis fotovoltaicos definidas em projeto.

Na limpeza manual do terreno com raspagem superficial, descrever os serviços constituintes e especificações, limpeza, carpina, retirada de camada vegetal, roçagem de pequenas árvores, retirada de tocos e raízes definidas em projeto do canteiro de obras.

Em relação a regularização e compactação manual, descrever os serviços constituintes e especificações, nivelamento do terreno e locação obedecendo-se às medidas do projeto de arquitetura e a disposição dos módulos fotovoltaicos definidas em projeto do canteiro de obras.

### Canteiro de Obras:

Descrever os materiais, serviços constituintes e especificações, barracão com instalações sanitárias para operários, almoxarifado de ferramentas e materiais de construção, obedecendo-se às medidas do projeto do canteiro de obras.

### Infraestrutura:

Para as bases concretadas e fundações, descrever os materiais constituintes e especificações, *radiers*, alvenarias e peças estruturais, bases concretadas e contrapisos nas medidas definidas em projeto de arquitetura.

Para a cerca descrever os materiais constituintes e especificações, baldrame e alvenarias estruturais nas medidas definidas em projeto de arquitetura.

Quanto à estrutura de fixação dos módulos fotovoltaicos, descrever os materiais constituintes e especificações, pilastras, travessas, longarinas e perfis nas medidas definidas em projeto.

Uma atenção especial deve ser dada a construção das bases de sustentação dos painéis fotovoltaicos, que podem ser constituídas de blocos, sapatas ou estacas em concreto armado. Essas devem ser construídas de modo a facilitar a montagem dos painéis, bem como os equipamentos e os agrupamentos dos cabos destinados a conduzir a energia produzida.

### Supra estrutura:

Para as estruturas concretadas e ou metálicas (caso previstas em projeto), descrever os materiais constituintes e especificações, vigas, pilares e peças estruturais nas medidas definidas em projeto de arquitetura.

Para as escadas e ou estruturas para elevação do nível da casa de comando (caso previstas em projeto), descrever os materiais constituintes e especificações, nas medidas definidas em projeto.

#### Paredes e Painéis:

Descrever os materiais constituintes e especificações, de alvenaria em cerâmica, em concreto, divisórias (caso previstas em projeto), rodapés, soleiras e peitoris nas medidas definidas em projeto de arquitetura.

#### Esquadrias:

Descrever os materiais constituintes e especificações, ferragens, vidros, portas, janelas e portões nas medidas definidas em projeto de arquitetura.

#### Revestimentos:

Descrever os materiais constituintes e especificações, chapisco, emboço, revestimento cerâmicos (ou outros) de pisos, paredes emassadas e azulejadas nas medidas definidas em projeto de arquitetura.

Quanto à impermeabilização (caso prevista em projeto) descrever os materiais constituintes e especificações, nas medidas definidas em projeto.

#### Cobertura:

Quanto ao madeiramento, descrever os materiais constituintes e especificações, vigotas, ripamento e caibros nas medidas definidas em projeto de arquitetura.

Em relação ao telhado, descrever os materiais constituintes e especificações, telhas nas medidas definidas em projeto de arquitetura.

Quanto ao forro (caso previsto em projeto), descrever os materiais constituintes e especificações nas medidas definidas em projeto de arquitetura.

Pinturas:

Descrever os materiais constituintes e especificações, para as paredes e as esquadrias nas medidas definidas em projeto de arquitetura.

Poço Semiartesiano (caso previsto em projeto) e Caixa D'água:

A profundidade do poço deve obrigatoriamente constar dos detalhes em plantas, além da devida cotação do serviço. Detalhes elétricos, sobre a instalação de bomba submersa devem ser incluídos.

Descrever os materiais constituintes e especificações, nas medidas definidas em projeto.

Fossa/Sumidouro:

Trata-se da construção do conjunto tanque séptico e sumidouro, podendo ser construído em concreto pré-moldado ou em alvenaria. A redução dos impactos causados pelo esgotamento sanitário oriundo da casa de comando é de suma importância. Assim, deve ser observado também que sua instalação guarde distância e oposição adequadas em relação ao poço caso seja previsto em projeto.

Descrever os materiais constituintes e especificações, nas medidas definidas em projeto.

Pavimentações:

Descrever os materiais constituintes e especificações, pisos das salas de comando, baterias, depósito, sanitário e calçadas de proteção externa nas medidas definidas em projeto de arquitetura.

### Instalações e Aparelhos:

Para as instalações hidro sanitárias, descrever os materiais constituintes e especificações, sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário definidas em projeto.

Quanto às instalações elétricas, descrever os materiais constituintes e especificações, pontos de luz, tomadas, quadros e instalações especiais para equipamentos definidas em projeto.

Em relação aos aparelhos, descrever os materiais constituintes e especificações, louças e metais, bacias sanitárias, pias, tanques e bancadas definidas em projeto.

### Diversos (Complementos):

Quando necessário, quaisquer outros detalhes construtivos e ou equipamentos etc., que sejam pertinentes, devem ser descritos e especificados.

### Limpeza Final da Obra e Remoção de Entulhos:

Após o término da obra, descrever como deverá ser feita a limpeza geral, tanto interna quanto externa com o devido descarte.

### Fiscalização:

Descrever de forma sucinta os procedimentos para acompanhamento da execução da obra.

Por fim toda e qualquer instalação e ou construção específica em função de particularidades do projeto devem ser detalhadas e ser for necessário até mesmo apresentados demonstrativos técnicos sucintos, como por exemplo no uso de

equipamentos mecânicos para manipulação de baterias pesadas como talhas e/ou estantes.

### **9.3 Sistema de Coleta de Dados Operacionais – SCD**

De acordo com a Resolução Normativa nº 801/2017, o Agente Executor, beneficiário direto ou que comercialize energia e potência com beneficiário da CCC e da Subconta Carvão Mineral, fica obrigado a implantar/adequar e manter o Sistema de Coleta de Dados Operacionais - SCD, destinado a medir, registrar, armazenar e colocar à disposição os dados referentes às grandezas elétricas e ao consumo de combustíveis para fins de reembolso.

O SCD deverá medir, registrar e armazenar, em base horária, as seguintes informações:

- Corrente (A);
- Tensão (kV);
- Potência ativa (kW);
- Energia ativa (kW.h);
- Potência reativa (kVAr);
- Energia reativa (kVAr.h); e
- Frequência (Hz).

Para **Programas de Obras do LPT**, tendo em vista que a potência instalada total de geração dos MIGDIs é inferior a 1 MW, não há obrigatoriedade de medição de consumo de combustível, no caso, de sistemas híbridos com geração a diesel.

O dispositivo de medição e registro e o envio dos dados do SCD deverão atender aos requisitos técnicos especificados pela CCEE, nos Procedimentos de Contas Setoriais.

O encaminhamento dos dados pode ser feito com periodicidade de até 3 meses, podendo o reembolso mensal entre as medições ser efetuado com base na última medição verificada.

O Agente Executor deverá apresentar notas fiscais e/ou cotações dos equipamentos e acessórios do SCD que embasaram os custos apresentados no PO.

No PO devem ser apresentados os equipamentos que compõem o SCD relacionando o custo e o peso de cada item.

#### **9.4 Sistema de Supervisão e Controle**

Devido a sua maior complexidade, em sistemas MIGDI, podem ser aplicados sistemas de supervisão e controle de modo a detectar perda de desempenho e auxiliar na tomada de decisões, garantindo assim o correto funcionamento do sistema.

O sistema de supervisão e controle de uma usina deve monitorar os equipamentos e funções de controle internos da usina, fornecendo as interfaces necessárias para garantir que todos os componentes estejam trabalhando juntos e adequadamente, garantindo assim, a integridade do sistema de geração.

Desse modo, no âmbito dos Programas LPT e MLA, podem ser utilizados modelos de controladores de carga e inversores que possuam sistemas de aquisição e armazenamento de dados integrados. Uma outra possibilidade seria a utilização de dispositivos eletrônicos que façam o registro de dados ao longo do tempo por meio de comunicação com os inversores de energia, captando dados que serão utilizados no monitoramento de usinas. No caso de utilização em sistemas híbridos (solar/diesel), faz-se necessário também equipamentos para coordenação da operação eficiente e em paralelo de todas as fontes.

Esses dispositivos não necessariamente devem ter conexão com a internet para enviá-los para um banco de dados ou nuvem, necessitando assim, de um display ou outro meio para obtenção dos dados.

A utilização de sistemas supervisão e controle mais complexos, podem não apresentar viabilidade econômica, devido aos altos custos.

O Agente Executor deverá apresentar notas fiscais e/ou cotações dos equipamentos e que compõem o sistema de supervisão e controle que embasaram os custos apresentados no PO.

No PO devem ser apresentados todos os equipamentos que compõem o sistema de supervisão e controle relacionando o custo e o peso de cada item.

### **9.5 Sistema de Comunicação Local e/ou Remota**

Poderão ser considerados sistemas locais de comunicação, que conectam as unidades consumidoras de um MIGDI a uma central na miniusina (por exemplo por rede celular ou radiofrequência) e também sistemas de comunicação remotos, que conectam a miniusina ao centro de operação do Agente Executor (por exemplo por rede celular ou via satélite).

Assim, o usuário ou operador pode acompanhar o desempenho operacional dos componentes do sistema, em alguns casos, inclusive em tempo real.

Não obstante os benefícios apresentados, deve ser considerado que a implantação desses sistemas leva a um aumento do custo total de investimento e à inclusão de custos na operação e manutenção (mensalidades de *links* via satélite, custos de manutenção e reposição dos próprios equipamentos do monitoramento etc.).

Dessa forma, a decisão de adoção de um sistema de comunicação remota apresenta-se como questão a ser decidida com base em estudo de viabilidade técnica e econômica apresentada pelo Agente Executor.

O PO deve priorizar dispositivos comunicação de baixo custo de implantação e operação e facilidade de manutenção, como por exemplo, a implantação de sistema de comunicação por rádio frequência.

A transmissão de dados via rádio é uma tecnologia que permite ao Agente Executor implantar uma rede de comunicação completa, sem o emprego de cabos.

A constituição de redes baseadas em ondas de rádio implica a instalação de antenas ou dispositivo de emissão e recepção, que devem estar em linha de vista para transmitir e receber os sinais. O seu principal uso é interligar estações remotas de coleta de dados a um computador.

A tecnologia adotada é uma escolha do Agente Executor, que deverá apresentar notas fiscais e/ou cotações dos equipamentos e acessórios do sistema de comunicação.

No PO devem ser apresentados os equipamentos que compõem o sistema de comunicação relacionando o custo de aquisição e o peso de cada item. Custos pela prestação do serviço de comunicação, mesmo que incluam o equipamento, não devem ser considerados no PO, uma vez que constituem custos de operação e manutenção.

## **10 Medição de Consumo e Controle de Demanda**

O Agente Executor poderá adotar mecanismo que limite o consumo de energia elétrica e a demanda de potência, de acordo com os valores projetados para cada unidade consumidora.

Em sistemas MIGDI, o gerenciamento da demanda dos consumidores de modo a manter a potência máxima demandada e o consumo do conjunto de consumidores dentro do limite técnico do sistema de geração, tem como vantagem proteger o sistema de sobrecargas e possíveis danos aos equipamentos, porém uma das vantagens de sistemas coletivos é justamente a possibilidade de aumento do consumo em situações de geração excedente.

Assim, recomenda-se que o Agente Executor realize estudo prévio de viabilidade técnica e econômica antes da apresentação de dispositivos de controle de consumo e demanda no PO.

Quanto à instalação de equipamento de medição na unidade consumidora atendida por meio de MIGDI ou SIGFI, esse também fica a critério do Agente Executor.

## **11 Apresentação dos Programas de Obras**

O Agente Executor deverá elaborar um Programa de Obras formado pelos diversos projetos nas distintas comunidades e domicílios isolados a serem atendidos pelos MIGDIs e/ou SIGFIs.

O Programa de Obras deverá ser apresentado para análise da Eletrobras por meio dos seguintes documentos:

- Planilha eletrônica, a ser preenchida conforme modelo disponível no site do MME;
- Arquivo de texto com um memorial descritivo do PO conforme a proposta de sumário, constante no Anexo I deste relatório;
- Fotos das localidades e de algumas unidades consumidoras a serem atendidas;
- Planilha eletrônica com memória de cálculo do dimensionamento dos sistemas de geração do PO;

- Planilha eletrônica com memória de cálculo da queda de tensão na minirrede de distribuição (em caso de MIGDI);
- Planilha eletrônica com memória de cálculo do custo de mão de obra e transporte de terceiros;
- Diagrama unifilar simplificado dos sistemas de geração;
- *Datasheets* dos equipamentos<sup>6</sup> considerados como referência;
- Notas fiscais e/ou cotações dos equipamentos, acessórios, materiais de rede e dos custos referentes ao transporte de carga e pessoal.

Na padronização proposta, o PO deve contemplar o detalhamento de todas as rubricas orçamentárias, bem como os dados de cada comunidade, indicando a quantidade e o tipo das UCs, as coordenadas geográficas em graus decimais, a extensão da rede, a demanda por comunidade, o dimensionamento do sistema etc.

## 12 Observações Importantes sobre a Execução das Obras

No decorrer da execução das obras contratadas, se houver a intenção pelo Agente Executor de construção dos sistemas com características diferentes das constantes no PO (sejam elas em relação aos equipamentos adotados, dimensões e características da obra civil, área de terrenos, minirrede etc.) a Eletrobras deverá ser informada o quanto antes, para análise das modificações e verificação da necessidade de revisão das metas contratuais. Sistemas construídos divergentes do contrato, serão passíveis de glosa.

Os equipamentos, tanto apresentados no PO quanto instalados em campo, deverão ser todos novos, não sendo aceitos equipamentos reconicionados/reutilizados.

---

<sup>6</sup> Tais equipamentos serão considerados apenas a título de referência para as memórias de cálculo (valores como eficiências, peso, dimensões, custos etc.).

Quanto a instalação dos módulos é admissível o sombreamento em pequenos intervalos ao longo do dia ou em alguns períodos, conforme as estações do ano. No entanto, o sombreamento dos módulos de forma frequente pode reduzir significativamente a geração de energia elétrica, comprometendo a disponibilidade energética prevista. Dependendo da situação, poderá resultar em glosa da obra.

A montagem e instalação dos equipamentos, estruturas e redes deverão seguir as normas técnicas vigentes aplicáveis, sendo seu cumprimento de total responsabilidade do Agente Executor.

### **13 Conclusões**

A eletrificação rural de comunidades remotas é um enorme desafio para a universalização dos serviços de energia elétrica. O acesso é difícil, demandando uma logística de transporte de carga e de pessoal diferenciada, a tecnologia de geração fotovoltaica e de armazenamento de energia está em constante evolução, a gestão comercial e de O&M são complexas, entre outros fatores. Desse modo, os sistemas remotos merecem uma atenção especial por parte de todos os agentes envolvidos no processo de universalização.

O documento apresentado busca, por meio de padronização, soluções para dar celeridade às atividades de elaboração, análise e implantação dos Programas de Obras, considerando requisitos de qualidade, segurança e de otimização do recurso público envolvido.

A adoção das sugestões contidas neste documento deverá ser efetuada de maneira crítica pelos Agentes Executores, principalmente em função de constantes inovações tecnológicas e possíveis alterações na regulamentação.

## 14 Referências

Ministério das Minas e Energia – MME. Portaria nº 244/2020 (publicado no DOU de 19 de junho de 2020). **Manual de Operacionalização do Programa Mais Luz para a Amazônia.**

Ministério das Minas e Energia – MME. Portaria nº 371/GM (publicado no DOU de 28 de agosto de 2018). **Manual de Operacionalização do Programa Luz para Todos para o período 2018 a 2022.**

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. REN 493 de 5/06/2012 – **Procedimentos e Condições de Fornecimento por Meio de Microssistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica – MIGDI ou Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente – SIGFI.**

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. REN 801 de 19/12/2017 – **Procedimentos para planejamento, formação, processamento e gerenciamento das parcelas Carvão Mineral e Conta de Consumo de Combustíveis – CCC, associadas à Conta de Desenvolvimento Energético – CDE.**

ELETROBRAS. **Especificações dos Programas para Atendimento às Regiões Remotas dos Sistemas Isolados no âmbito do Programa Luz para Todos**, ago de 2017.

GTES – Grupo de Trabalho de Energia Solar. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. CEPEL – CRESESB, 2014.

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – Portaria nº 004 de 4/01/2011 – **Requisitos de Avaliação da Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica.**

ABNT NBR 16.404 – **Bateria chumbo-ácida estacionária ventilada – Requisitos de instalação e montagem.**

ABNT NBR 16.767 – **Elementos e baterias estacionárias para aplicação em sistemas fotovoltaicos não conectados à rede elétrica (off-grid) - Requisitos gerais e métodos de ensaio.**

ABNT NBR 15.254 – **Acumulador chumbo-ácido estacionário – Diretrizes para dimensionamento.**

ABNT NBR 16.975 – **Células e baterias secundárias de lítio para aplicações estacionárias – Especificação elétrica e métodos de ensaio.**

**ABNT NBR 16.976 - Células e baterias secundárias de lítio para aplicações estacionárias – Especificação dos requisitos de segurança e métodos de ensaio.**

**Solarview.** Solarview, [s.d.]. Categorias / Materiais/ Como funciona o datalogger para sistema fotovoltaicos? Disponível em: <<https://solarview.com.br/datalogger-para-energia-fotovoltaica/>>. Acesso em: 19 de out. de 2021.

**NeoSolar.** NeoSolar, [s.d.]. Início / Inversor Solar Híbrido Off Grid – Kstar. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/inversor-hibrido-off-grid-kstar>>. Acesso em: 07 de out. de 2021.

**Panda Energia Solar.** Panda Energia Solar, [s.d.]. Início / Inversor Híbrido Solar. Disponível em: <<https://www.pandaenergiasolar.com/rca5ei1fs-inversor-hibrido-3000-watts-com-controlador-solar-interno>>. Acesso em: 07 de out. de 2021.

**Badra, Mateus.** Growatt lança inversor para usinas solares off-grid. **Canal Solar**, 2021. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/growatt-lanca-inversor-para-usinas-solares-off-grid/>>. Acesso em: 07 de out. de 2021.

**Canal Solar.** Disponível em <<https://canalsolar.com.br>>. Acesso em: 25 de out de 2021.

**Morningstar String Calculator.** Disponível em: <<http://string-calculator.morningstarcorp.com>>. Acesso em: 18 de out de 2021.

**Outback String Sizing Tool.** Disponível em: <<https://www.outbackpower.com/resources/technical-support/string-sizing-tool>>. Acesso em: 18 de out de 2021.

**Victor Energy.** Disponível em <<https://www.victronenergy.pt/solar-charge-controllers>>. Acesso em: 18 de out de 2021.

**ANEXO I – Modelo Proposto para o Memorial Descritivo do  
Programa de Obras**

## 1 Introdução

Neste item deve conter as características sociais da comunidade, suas atividades econômicas, potencial de desenvolvimento e uso da energia que justifiquem a forma de atendimento proposta.

Deve ser mencionado também os tipos de UCs, tais como residências, unidades coletivas (igrejas, postos de saúde, escolas ou outros tipos de atendimento) e bombeamento d'água, previstas no Programa de Obras e como serão atendidas (por meio SIGFI, MIGDI ou SBFV).

## 2 Dados das Unidades Consumidoras

Neste item é desejado que sejam informadas as quantidades de UCs a serem atendidas (meta de ligações), tipo de UC (Residencial, Igreja, Posto de Saúde etc.) e disponibilidade energética garantida às UCs (kWh/UC/mês) por município.

*Tabela 1 Quantidade de UCs por Tipo e por Município*

Município	Quantidade de Unidades Consumidoras			
	Domicílio	Igreja	Posto de Saúde	Centro Comunitário
	xx kWh/mês	xx kWh/mês	xx kWh/mês	xx kWh/mês
Município A	1.000	15		10
Município B	800		20	

Devem ser informadas também as coordenadas geográficas (em graus decimais) dos municípios a serem atendidos e seus valores de irradiação solar (indicando a fonte de consulta e seguindo orientação contida no item 7.1 deste Guia Técnico).

Tabela 2 – Irradiação Solar nos Municípios

Município	Coordenadas Geográficas		Irradiação do Pior Mês (kWh/m <sup>2</sup> .dia)
	Latitude	Longitude	
Município A			
Município B			
Município C			

Deverá conter também um mapa com a indicação dos municípios e fotos das localidades a serem atendidas.



Figura 1 apresenta um exemplo de mapa apontando os municípios atendidos no PO:



Figura 1– Mapa com indicação dos municípios a serem atendidos

### 3 Quadro e Curva de Carga das Unidades Consumidoras

As curvas de carga típica de UCs a serem atendidas com disponibilidade acima de 45 kWh/mês devem ser apresentadas neste item, a fim de subsidiar o MME em sua aprovação. Seguem exemplos de quadro e curva de carga.

Tabela 2- Exemplo de Quadro de Carga Residencial

Unidade Consumidora Residencial de 60 kWh/Mês						
Equipamento	Quantidade (un.)	Potência (W)	Uso Diário (h)	Fator de Utilização	Consumo Diário (kwh/dia)	Consumo Mensal (kWh/mês)
Geladeira Selo Procel	1	250	24	0,16	0,96	28,8
Lâmpadas LED	3	9	6	1	0,162	4,86
Televisão	1	100	4	1	0,4	12
Rádio pequeno	1	40	2	1	0,08	2,4
Carregador de celular	1	50	2	1	0,1	3
Ventilador	1	60	5	1	0,3	9
<b>Total Residência Individual</b>					<b>2,002</b>	<b>60,06</b>

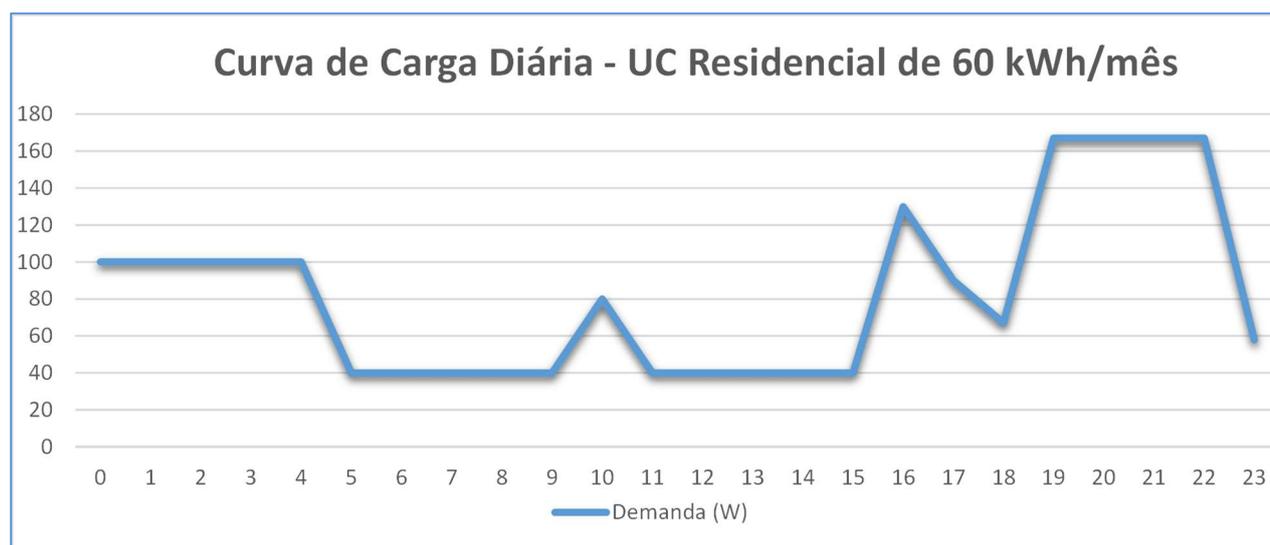


Figura 2 – Exemplo de Curva de Carga Residencial

#### 4 Características Técnicas

Apresentar as características técnicas dos sistemas adotados SIGFI ou MIGDI, apresentando um breve descritivo que justifique a escolha de atendimento, mencionando se foi realizado algum estudo de viabilidade técnico-econômica comparativo entre a forma convencional de atendimento e o atendimento por sistema fotovoltaico, quando se aplicar. Informar também se foi realizado um estudo de viabilidade técnica-econômica

(conforme orientações contidas no item 3.4 do guia técnico) para a escolha de atendimento por meio de MIGDI ao invés de SIGFI, quando se aplicar.

#### **4.1 Configuração dos Sistemas**

Neste item deverá ser apresentada a configuração para cada tipo de sistema presente no Programa de Obras (SIGFI e/ou MIGDI), tais como a quantidade de equipamentos (Inversor, Controlador, Baterias etc) e as configurações série/paralelo adotadas.

Para a nomenclatura dos Sistemas SIGFI é considerada a disponibilidade mensal garantida. Assim para uma UC de 45 kWh/mês, o SIGFI será denominado de SIGFI 45.

Para a nomenclatura dos Sistemas MIGDI, convencionou-se utilizar o total de energia disponibilizada para as UCs a serem atendidas. Por exemplo, se forem previstas 40 unidades de 45 kWh/mês (totalizando 1.800 kWh/mês) o MIGDI será denominado de MIGDI 1800. No entanto para o dimensionamento deve ser considerado também o consumo interno da usina.

Para a nomenclatura dos Sistemas SBFV, é considerada a disponibilidade mensal, se for uma UC de 45 kWh/mês. Assim o SBFV será denominado de SBFV 45.

#### **4.2 Dimensionamento e Especificações Técnicas**

Neste item deve ser apresentada a memória de cálculo do dimensionamento dos equipamentos para cada tipo de sistema previsto no Programa de Obras. As especificações técnicas e/ou catálogos dos principais equipamentos adotados como referência para o projeto devem ser apresentados nos respectivos itens subsequentes. Se houver equipamentos diferentes para os diversos tipos de sistemas previstos (SIGFI

45, SIGFI 60 etc.), todos devem ser descritos, conforme orientações contidas nos itens 5, 6 e 7 do Guia Técnico.

#### 4.2.1 Módulos Fotovoltaicos

#### 4.2.2 Controladores de Carga

#### 4.2.3 Inversores

#### 4.2.4 Equipamentos Integrados

#### 4.2.5 Baterias

#### 4.2.6 Acessórios

Deve conter as informações básicas da estrutura para suporte dos módulos fotovoltaicos, armários, conectores, cabos de ligação, disjuntores etc.

#### 4.2.7 Minirrede de Distribuição

Deverá seguir as orientações contidas no item 9.1 do Guia Técnico.

#### 4.2.8 Obras civis

Deverá seguir orientações contidas no item 9.2 do Guia Técnico.

#### 4.2.9 Sistema de Coleta de Dados Operacionais - SCD

Deverá seguir orientações contidas no item 9.3 do Guia Técnico.

#### 4.2.10 Sistema de Supervisão e Controle

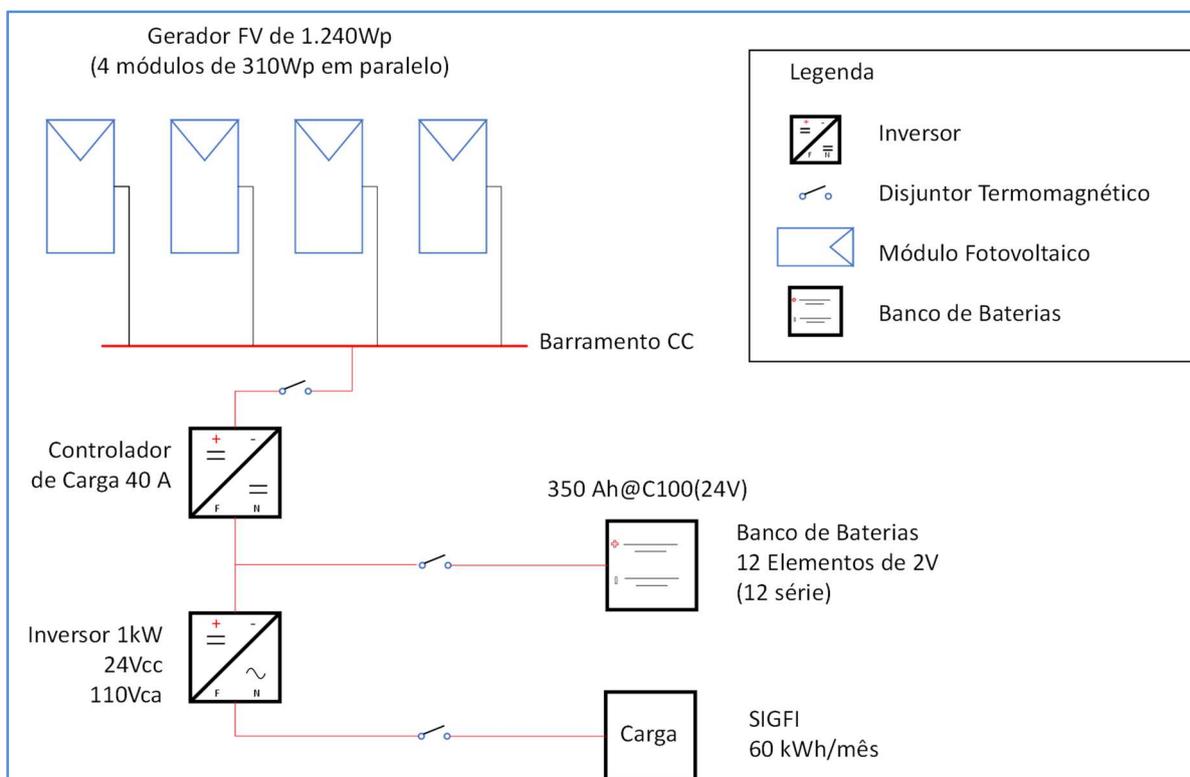
Deverá seguir orientações contidas no item 9.4 do Guia Técnico.

#### 4.2.11 Sistema de Comunicação Local e/ou Remota

Deverá seguir orientações contidas no item 9.5 do Guia Técnico.

#### 4.2.12 Diagramas Unifilares

Neste item deve ser apresentado para os sistemas previstos (SIGFI ou MIGDI), os diagramas unifilares, de forma simplificada, apresentando as ligações série/paralelo, bem como a quantidade e ligação dos equipamentos.



*Figura 3 – Exemplo de diagrama unifilar*

### **4.3 Detalhamento do Cálculo da Mão de Obra**

#### **4.3.1 Mão de Obra de Implantação dos Sistemas**

Deverá seguir as orientações contidas no item 8.2.1 do Guia Técnico.

#### **4.3.2 Logística para Transporte de Pessoal**

Deverá seguir as orientações contidas no item 8.2.2 do Guia Técnico.

### **4.4 Logística para Transporte de Carga**

Deverá seguir as orientações contidas no item 8.3 do Guia Técnico.

## **5 Orientação aos Usuários**

Neste item deve ser apresentado um plano para orientação dos usuários quanto ao uso eficiente e racional da energia elétrica e também com objetivo de trazer segurança e eficiência para o uso da energia.



MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA

