



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS - CAMPUS PALMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

LORENA DA COSTA COUTINHO

**ANÁLISE TÉCNICA E COMPARATIVA COM RELAÇÃO A ELETRIFICAÇÃO
RURAL E INSTALAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ISOLADOS NO
ESTADO DO TOCANTINS**

**Palmas, Tocantins
2022**



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS - CAMPUS PALMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

LORENA DA COSTA COUTINHO

**ANÁLISE TÉCNICA E COMPARATIVA COM RELAÇÃO À ELETRIFICAÇÃO
RURAL E INSTALAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ISOLADOS NO
ESTADO DO TOCANTINS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação da Área da Indústria como requisito
parcial para aprovação na Disciplina TCC II, no Curso
de Graduação de Bacharelado em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Fábio de Lima Albuquerque

Palmas, Tocantins

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

C871a Coutinho, Lorena da Costa
ANÁLISE TÉCNICA E COMPARATIVA COM RELAÇÃO A
ELETRIFICAÇÃO RURAL E INSTALAÇÃO DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS ISOLADOS NO ESTADO DO TOCANTINS / Lorena
da Costa Coutinho. – Palmas, TO, 2022.
69 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus
Palmas, Palmas, TO, 2022.

Orientador: Dr. Fábio de Lima Albuquerque

1. Sistema isolado de geração solar fotovoltaica no Programa MLpA. 2.
Eletrificação rural. 3. Análise comparativa. I. de Lima Albuquerque, Fábio.
II. Título.

CDD 621

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e
pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a)
autor(a).

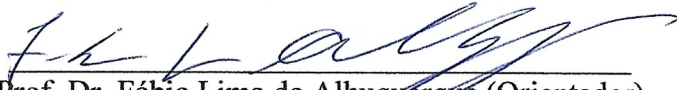
LORENA DA COSTA COUTINHO

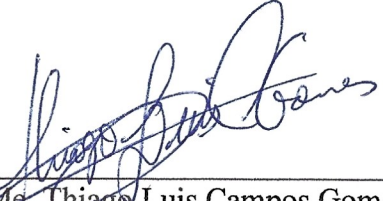
ANÁLISE TÉCNICA E COMPARATIVA COM RELAÇÃO À ELETRIFICAÇÃO RURAL E INSTALAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ISOLADOS NO ESTADO DO TOCANTINS.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Tecnologia em Sistemas Elétricos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – *Campus* Palmas, como exigência à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovado em 16 / 12 / 2022

BANCA AVALIADORA


Prof. Dr. Fábio Lima de Albuquerque (Orientador)
IFTO – *Campus* Palmas


Prof. Me. Thiago Luis Campos Gomes
IFTO – *Campus* Palmas


Eng. Andresa da Silva Lima
Resulta Energia e Soluções LTDA

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus por me dar força, sabedoria e coragem para prosseguir em mais uma etapa da vida profissional e acadêmica, o grande responsável por permitir que tudo acontecesse no devido seu tempo da melhor forma possível.

Aos familiares, por acreditar no potencial e sempre incentivar para que os meus objetivos fossem alcançados e ao meu noivo, eletrotécnico e acadêmico em Engenharia Elétrica, Pitágoras Rodrigues de Melo Sobrinho, por todo o auxílio técnico para aprimoramento do trabalho, apoio emocional e parceria.

A todas as pessoas da equipe do Departamento de Construção, Manutenção e Distribuição – DCMD da Energisa Tocantins, que contribuíram no decorrer do trabalho, todas as pessoas da equipe do Dínamo Engenharia e aos engenheiros Murilo Leobas e Maria Isabella de Oliveira Novais empreendedores individuais, que contribuíram com dados importantes para a conclusão do trabalho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Fábio Lima de Albuquerque e a banca avaliadora pelas orientações, correções e incentivos e a todos os professores que participaram da minha jornada acadêmica, ao longo desses anos, compartilhando conhecimentos e agregando valores no meu desenvolvimento profissional e acadêmico.

A todos os amigos e colegas, pelos momentos de convívio, apoio, parceria e incentivo. Por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram com o alcance e êxito desse grande desafio.

RESUMO

Considerando que o acesso à energia elétrica é de grande importância para o desenvolvimento da sociedade, as adversidades de acesso quando localizadas em regiões remotas e o avanço sustentável quanto à utilização de fontes renováveis para geração de energia elétrica, fez com que o Governo Federal aprimorasse o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - Luz Para Todos (LpT) para os estados pertencentes à Amazônia Legal, com a criação do Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica na Amazônia Legal - Mais Luz para a Amazônia (MLpA), gerando impactos para as concessionárias de energia elétrica que atuam nesses estados e aos beneficiários.

Com isso, o presente trabalho demonstra a análise dos impactos com a efetivação do programa MLpA através da realização de estudo comparativo entre a rede de energia elétrica convencional rural e a instalação de sistema isolado de geração com fonte de energia solar fotovoltaica, realizada por meio de coleta e avaliação de dados. Portanto, os resultados apurados e avaliados comprovam que a execução de sistemas isolados através do MLpA é mais ágil e econômica para a concessionária de energia elétrica. No entanto, para os beneficiários o atendimento convencional é mais viável quando a potência desejada para o atendimento, seja acima do permitido pelo MLpA ou onde possuam equipamentos que solicitem grandes demandas de energia no pico de partida.

Palavras-chave: Atendimento, Rede de Energia Elétrica Convencional, Sistema Isolado de Geração, Energia Solar Fotovoltaica.

ABSTRACT

Considering that access to electricity is of great importance for the development of society, the adversities of access when located in remote regions and the sustainable advance regarding the use of renewable sources for the generation of electricity, led the Federal Government to improve the National Program for Universal Access to and Use of Electric Energy - Light for All (LpT) for states belonging to the Legal Amazon, with the creation of the National Program for Universal Access and Use of Electric Energy in the Legal Amazon - More Light for the Amazon (MLpA), generating impacts for the electricity concessionaires that operate in these states and the beneficiaries.

With this, the present work demonstrates the analysis of the impacts with the execution of the MLpA program through the accomplishment of a comparative study between the conventional rural electric energy network and the installation of isolated generation system with source of photovoltaic solar energy, carried out through data collection and evaluation. Therefore, the results obtained and evaluated, prove that the execution of isolated systems through the MLpA is more agile and economical for the electric energy concessionaire, however, for the beneficiaries, the conventional service is more viable when the desired power for the service, either above what is allowed by the MLpA or where they have equipment that requests large energy demands at the starting peak.

Keywords: Service, Conventional Electricity Grid, Isolated Generation System, Photovoltaic Solar Energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema elétrico de potência	17
Figura 2 - Matriz elétrica mundial e brasileira	17
Figura 3 - Consumo proveniente de fonte renováveis e não renováveis no Brasil e no mundo no ano de 2019.....	18
Figura 4 - Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil.....	18
Figura 5 - Mapa eletrográfico do estado do Tocantins.....	20
Figura 6 - Transformador monofásico	21
Figura 7 - Sistema solar fotovoltaico isolado	23
Figura 8 - Composição do módulo fotovoltaico	24
Figura 9 - Configuração dos módulos.....	25
Figura 10 - Controlador de carga PWM.....	26
Figura 11 - Controlador de carga MPPT	26
Figura 12 - Bateria de chumbo ácido	27
Figura 13 - Bateria de níquel-cádmio	28
Figura 14 - Bateria de íons de lítio	28
Figura 15 - Associação das baterias.....	29
Figura 16 - Formas de onda.....	30
Figura 17 - Disponibilidade de energia, tabela Art. 519	39
Figura 18 - Disponibilidade de energia SIGFI45, tabela item 7.2.....	40
Figura 19 - Disponibilidade de energia SIGFI60, tabela item 7.2.....	41
Figura 20 - Disponibilidade de energia SIGFI80, tabela item 7.2.....	41
Figura 21 - Disponibilidade de energia SIGFI120, tabela item 7.2.....	41
Figura 22 - Disponibilidade de energia SIGFI180, tabela item 7.2.....	41
Figura 23 - Esquema de ligação SIGFI com uma string	42
Figura 24 - Esquema de ligação SIGFI com mais de uma string	42
Figura 25 - Potência do inversor de acordo com o SIGFI.....	43
Figura 26 - Disponibilidade energética por MBs de referência.....	46
Figura 27 - Configuração modular e seus valores de referência	46
Figura 28 - Configuração mínima do MIGDI CA	47
Figura 29 - Configuração mínima do MIGDI C.....	47
Figura 30 - Valores mínimos para o dimensionamento do sistema fotovoltaico de acordo com a irradiação local.....	48

Figura 31 - Configuração MIGDI CA.....	48
Figura 32 - Configuração MIGDI CC.....	49
Figura 33 - Custo médio previsto, considerando reembolso de 90%.	56
Figura 34 - Custo médio previsto, desconsiderando reembolso de 90%.	56
Figura 35 - Potência do inversor de acordo com o SIGFI.....	59
Figura 36 - Custo médio previsto de eletrificação rural com extensão de 1km, 15km e 20k...59	
Figura 37 - Economia média prevista com a implantação do MLpA em comparação com 1km de rede de distribuição rural, considerando o reembolso de até 90% no MLpA.....	60
Figura 38 - Economia média prevista com a implantação do MLpA em comparação com 1km de rede de distribuição rural, desconsiderando o reembolso de até 90% no MLpA	60
Figura 39 - Economia média prevista com a implantação do SIGFI 160 em comparação com 1km, 1,5km e 2km de rede de distribuição rural, desconsiderando o reembolso de até 90% no MLpA.....	61
Figura 40 - Potência média de carga instalada suportada	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplo de levantamento de consumo diário.....	32
Tabela 2 - Premissas adotados pela Energisa Tocantins.....	53
Tabela 3 - Dimensionamentos adotados pela Energisa Tocantins	54
Tabela 4 - Custo de implantação dos SIGFI 45, 80 e 160.....	54
Tabela 5 - Custo de operação e manutenção dos SIGFI 45, 80 e 160.....	55
Tabela 6 - Custo de implantação da rede de distribuição rural por km.....	57
Tabela 7 - Custo de operação e manutenção por quilometro de eletrificação rural.....	58
Tabela 8 - Prazo de execução e atendimento do MLpA e eletrificação rural.....	62

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 PROBLEMÁTICA.....	15
1.2 JUSTIFICATIVA.....	15
1.3 OBJETIVOS	15
1.3.1 Objetivos gerais.....	15
1.3.2 Objetivos específicos.....	16
1.4 MÉTODOS DA PESQUISA.....	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1 SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA (SEP).....	16
2.2 REDES DE DISTRIBUIÇÃO	19
2.2.1 Redes de distribuição rural	19
2.2.1.1 Transformadores.....	21
2.2.1.2 Condutores e proteções.....	21
2.2.1.3 Estrutura de fixação	22
2.3 SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO	22
2.3.1 Sistema isolado de energia solar fotovoltaica.....	23
2.3.1.1 Módulos fotovoltaicos	24
2.3.1.2 Controlador de carga	25
2.3.1.3 Banco de baterias.....	27
2.3.1.4 Inversor para sistemas isolados.....	29
2.3.1.5 Condutores e proteções.....	31
2.3.1.6 Estrutura de fixação	31
2.3.1.7 Dimensionamento.....	31
2.4 ATENDIMENTO A CONSUMIDORES EM ÁREAS REMOTAS	35
2.4.1 Programa Nacional de Universalização do Acesso e uso da Energia Elétrica - Luz Para Todos - LpT	36
2.4.2 Programa Nacional de Universalização do Acesso e uso da Energia Elétrica na Amazônia Legal - Mais Luz para a Amazônia – MLpA.....	37
2.4.2.1 Sistema individual de geração de energia elétrica com fonte intermitente - SIGFI....	40
2.4.2.2 Microsistemas isolados de geração e distribuição de energia elétrica – MIGDI.....	44
2.5 MANUTENÇÃO	50
2.6 FATURAMENTO RURAL	50

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	53
3.1 INFORMAÇÕES SOBRE O MLpA.....	53
3.1.1 Avaliação de dados do programa MLpA	56
3.2 INFORMAÇÕES SOBRE O PROGRAMA LpT E DE ELETRIFICAÇÃO RURAL	57
3.2.1 Avaliação de dados eletrificação rural.....	58
3.3 ANÁLISE COMPARATIVA	59
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

1 INTRODUÇÃO

O acesso à energia elétrica é de grande importância para a sociedade, tanto para alavancar o desenvolvimento sócio econômico quanto para gerar qualidade de vida para quem a utiliza. Essa energia pode ser gerada por meio de fontes classificadas em renováveis como rios, mares, vento, biomassa, solar e não renováveis como derivados de petróleo e similares.

Atualmente uma parte significativa da energia elétrica disponibilizada para atender a população brasileira é gerada através de recursos hídricos, o que traz grandes impactos ambientais desde a geração até o atendimento do consumidor final. Devido o extenso território e características naturais da biodiversidade brasileira, o atendimento da população localizada em regiões de difícil acesso como áreas remotas possui um elevado custo para atendimento.

Recentemente, visando a disponibilidade de energia elétrica para comunidades localizadas em áreas remotas nos estados pertencentes à Amazônia Legal (Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Maranhão, Pará, Roraima, Rondônia e Tocantins), foi criado por meio do Ministério de Minas Energia do Governo Federal brasileiro o Programa Mais Luz Para Amazônia (MLpA), instituído através do decreto nº 10.221, de 5 de fevereiro de 2020.

Dessa forma, diferente do constituído pelo Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - Luz Para Todos (LpT) até o ano de 2022, as concessionárias de energia elétrica que atuam nos estados da Amazônia Legal são obrigadas a aderir o programa e fornecer energia elétrica através de sistema de geração isolado com fontes de energia renováveis, no qual é regulamentado através da resolução normativa ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) nº1000, de 7 de dezembro de 2021.

Sendo assim, o trabalho contempla a análise sobre a implementação de sistemas de geração isolados com a utilização da energia solar fotovoltaica como fonte de geração, no estado do Tocantins, para atendimento ao Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica na Amazônia Legal - Mais Luz para a Amazônia juntamente com estudo comparativo com a extensão de rede elétrica rural convencional. Dessa forma, serão analisados os impactos com a efetivação do programa nas comunidades beneficiadas e na concessionária local.

1.1 PROBLEMÁTICA

Atualmente, as unidades consumidoras e novas solicitações de atendimento a regiões remotas integradas aos estados da Amazônia Legal são contempladas pelo programa nacional de universalização do acesso e uso da energia elétrica através de rede convencional de energia elétrica. No entanto, esse benefício é instituído pelo Governo Federal no qual constituiu um novo programa para atendimento a essas regiões, por meio do MLpA, alterando o atendimento convencional por geração própria sem conexão com rede de energia elétrica por meio de fontes renováveis e proporcionando impactos tanto para as concessionárias de energia elétricas quanto para as beneficiárias do programa.

1.2 JUSTIFICATIVA

A energia elétrica faz parte de um cotidiano com desenvolvimento e qualidade de vida. Porém, devido o vasto território brasileiro parte da população está localizada em regiões isoladas onde não há acesso a esse produto.

O avanço da tecnologia vem proporcionando o atendimento a comunidades localizadas em regiões remotas com a mesma eficiência dos meios convencionais, com menos impactos ambientais e com custo acessível para implantação.

Portanto, o presente estudo visa apresentar estudo técnico e comparativo com o atendimento através do programa MLpA em relação ao sistema de energia elétrica convencional.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivos gerais

Análise comparativa entre rede de distribuição convencional na zona rural e a implantação de sistema solar fotovoltaico isolado, tanto para a população a ser atendida quanto para a concessionária de energia elétrica.

1.3.2 Objetivos específicos

- Avaliar custo-benefício da rede de distribuição rural;
- Verificar custo-benefício de sistema isolado de geração fotovoltaica;
- Realizar estudo comparativo entre a disponibilidade de energia elétrica para regiões remotas por meio da rede de energia elétrica convencional e sistema geração isoladas através da energia solar fotovoltaica.

1.4 MÉTODOS DA PESQUISA

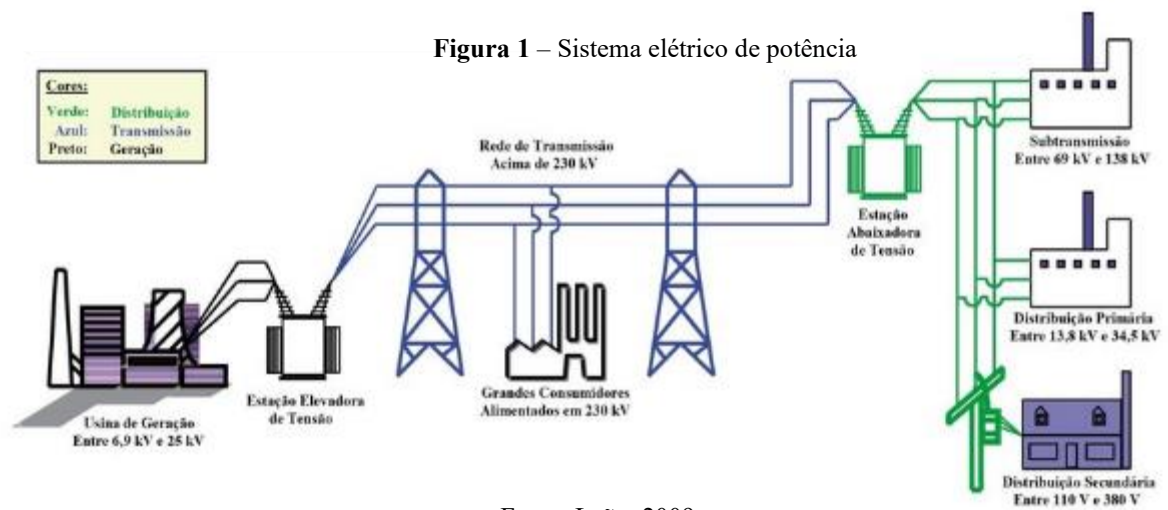
A metodologia a ser adotada consistirá em uma pesquisa documental e bibliográfica, sobre os métodos de atendimento de energia elétrica a comunidades localizadas em regiões remotas sem acesso ao Sistema Interligado Nacional (SIN). Posteriormente será realizada a apuração de dados referente aos custos de extensão de rede energia elétrica rural e implantação de sistemas de geração de energia solar fotovoltaico isolado, junto à concessionária local e pesquisas de mercado. Através dos dados obtidos, será realizada análise técnica e comparativa por meio de avaliação dos custos de implantação, operação de manutenção, economia para concessionária local e a potência de disponibilizada para atendimento.

As pesquisas relacionadas ao tema serão fundamentadas através de normativas, decretos federais, livros, artigos, monografias, pós-graduação, mestrados, doutorados, entre outros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA (SEP)

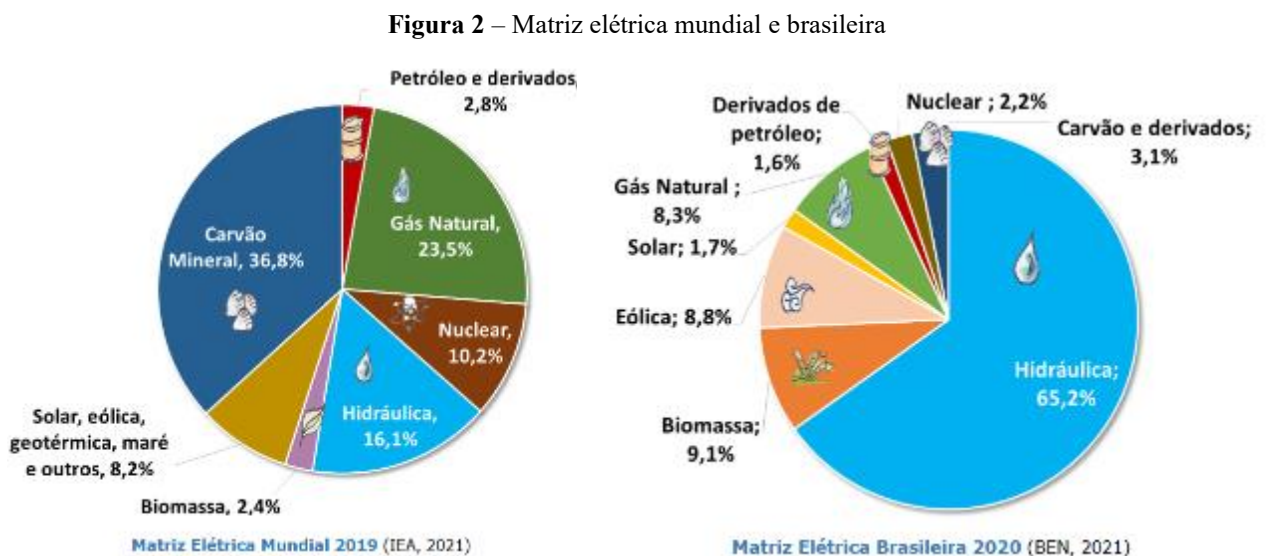
O sistema elétrico de potência no Brasil é constituído pela integração de geradoras, subestações, linhas de transmissão e redes de distribuição até os consumidores finais, de forma que sejam atendidos de acordo com os padrões de confiabilidade, disponibilidade, qualidade, segurança e com o mínimo impacto ambiental (Figura 1) (ABRAADE,2018).



Fonte: Leão, 2009

A energia elétrica gerada nesse sistema é proporcionada através de equipamentos que transformam energia primária em eletricidade. As fontes de energia utilizadas no sistema de geração são classificadas em renováveis como rios, mares, vento, biomassa, solar e não renováveis como derivados de petróleo e similares (ACERVO LIMA, 2022).

Nas Figuras 2 e 3 é possível observar que o Brasil possui um vasto potencial na geração de energia com a utilização de fontes renováveis. No ano de 2020 o Brasil possuía 83% da sua matriz elétrica composta de geração por meio de fontes renováveis enquanto a matriz elétrica mundial do ano de 2019 era apenas 27%.

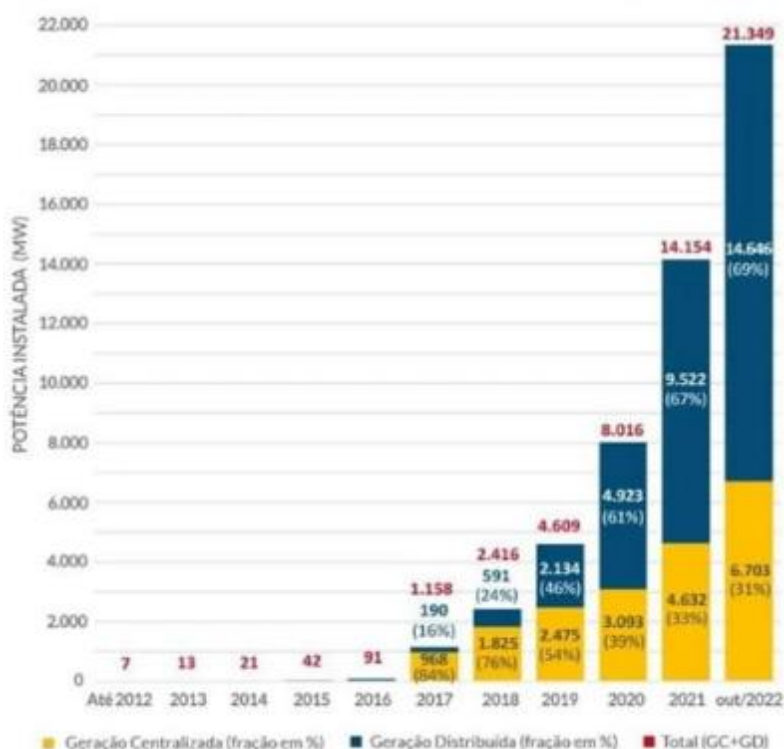


Fonte: Empresa de Pesquisa Energética, 2022

Figura 3 – Consumo proveniente de fonte renováveis e não renováveis no Brasil e no mundo no ano de 2019

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética, 2022

Em função do avanço tecnológico e a abundância de recursos renováveis no Brasil, a geração de energia através da energia solar fotovoltaica obteve um crescimento considerável nos últimos anos, conforme destacado na Figura 4. A implantação de geração de energia própria em áreas urbanas ou rurais sendo executadas de forma acessível e possibilitando ser conectada ou não a rede de energia elétrica, proporcionou uma alternativa de atendimento a regiões remotas, para as concessionárias de energia elétrica.

Figura 4 – Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil

Fonte: ANEEL/ABSOLAR, 2022

2.2 REDES DE DISTRIBUIÇÃO

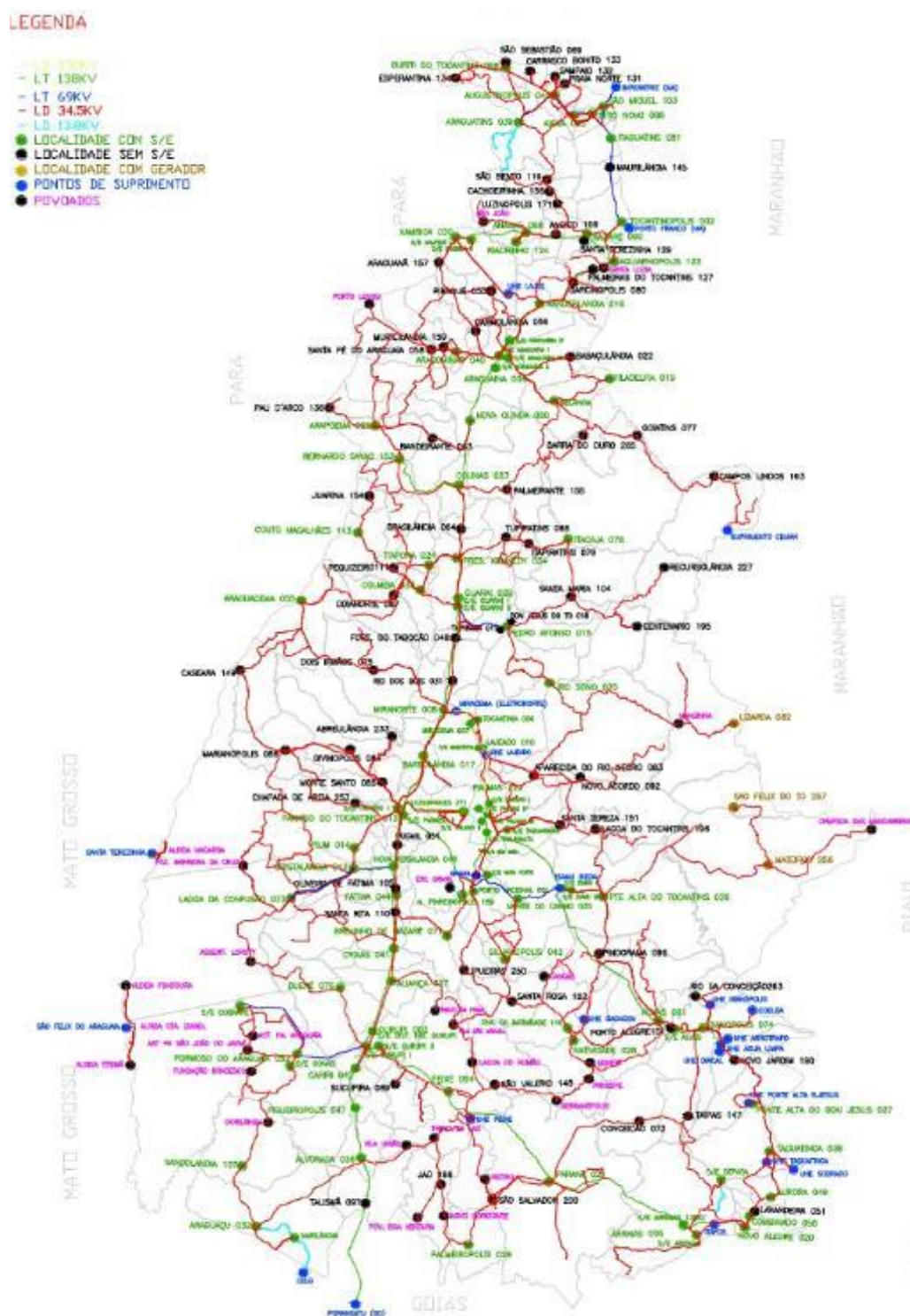
As redes de distribuição no Brasil são constituídas por linhas de transmissão que distribuem a energia gerada a grandes centros de consumo e a consumidores livres, subtransmissão, que transportam a energia elétrica para pequenas cidades e consumidores industriais, distribuição primária (tensões de 34,5kV e 13,8kV) e secundária (tensões de 380/220V no estado do Tocantins) na qual são as responsáveis por levar energia elétrica aos consumidores de médio e pequeno porte (ABRAADE, 2021). As redes de distribuição de energia elétrica são classificadas da seguinte forma:

- *Rede de Distribuição Aérea Convencional:* São constituídas por condutores nus, sem nenhum tipo de isolamento, sendo mais susceptíveis à ocorrência curto-circuitos do tipo fase-terra, pois podem entrar em contato com galhos de árvores;
- *Rede de Distribuição Aérea Compacta:* Esse tipo de rede possui condutores revestidos por material isolante e ocupam menos espaço, resultando em menor número de ocorrências de defeitos e falhas; (ABRAADE, 2021)
- *Rede de Distribuição Aérea Isolada:* Os condutores utilizados são encapados com isolamento suficiente para serem trançados; (ABRAADE, 2021)
- *Rede de Distribuição Subterrânea:* Proporciona o maior nível de confiabilidade e estético, considerando que as redes ficam enterradas. Porém, possuem um custo de implantação muito elevado, sendo comuns apenas em regiões muito densas ou na existência de restrições para a instalação das redes aéreas. (ABRAADE, 2021)

2.2.1 Redes de distribuição rural

As redes de distribuição na área rural são executadas através de rede convencional, onde, em toda extensão são encontrados materiais que permitam a interligação entre as redes, equipamentos de manobra, proteção e transformação de tensão a fim de levar energia a pequenos consumidores. No estado do Tocantins, a eletrificação rural é distribuída na configuração monofásica com as tensões de 19,9kV e 7,97kV e regulamentadas através das Normas de Distribuição Unificada – NDU 005 e NDU 007. Devido a abrangência da tensão de 34,5kVA conforme apresentado na Figura 5, uma parte significativa dos atendimentos da zona rural é realizado na tensão de 19,9kV (ENERGISA TOCANTINS, base de dados, 2022).

Figura 5 – Mapa eletrográfico do estado do Tocantins



Fonte: ENERGISA TOCANTINS, BASE DE DADOS, 2022

As características dos equipamentos utilizados nesse tipo de distribuição de energia elétrica estão dispostas a seguir:

2.2.1.1 Transformadores

Figura 6 – Transformador monofásico



Fonte: Trael transformadores elétricos, <https://www.trael.com.br/transformadores-monofasicos/>

Os transformadores são máquinas elétricas estáticas que permite variar os valores das tensões com uma frequência constante. Essa variação para cima do valor da tensão tem por maior objetivo a diminuição das perdas durante a distribuição. Os tipos mais comuns são os de vários enrolamentos e os autotransformadores (MAMEDE, 2013).

Em redes de distribuição rural são utilizados transformadores de vários enrolamentos com potência entre 5kVA a 25kVA caracterizados como Monofásica com Retorno por Terra – MRT, devido possuir somente uma bucha no lado de alta tensão e uma ou mais buchas no lado de baixa tensão, atendendo a demanda de cargas monofásicas e alocados em postes. (ENERGISA TOCANTINS, base de dados, 2022).

2.2.1.2 Condutores e proteções

Os condutores utilizados na rede de média tensão são de cabo alma de aço e nus (sem isolamento). Consequentemente são mais susceptíveis à ocorrência de defeitos (curtos-circuitos). Já a parte de baixa tensão destinada ao ramal de ligação são cabos multiplexados (isolados). As bitolas mais utilizadas na MT são: 34 mm² (2 AWG), 54 mm² (1/0 AWG) ou 107 mm² (4/0 AWG) e na BT são de 10 mm², 16 mm², 25 mm² ou 35 mm². (ENERGISA TOCANTINS, NDU 005, pág.15, 2018).

As proteções utilizadas são para raios que limitam as sobretensões tanto na parte de média tensão quanto no lado de baixa tensão, chaves fusíveis que permitem a isolação do trecho que contém defeito ou falha e sistema de aterramento. (FRANÇA, 2012)

2.2.1.3 Estrutura de fixação

No decorrer da distribuição de energia é necessário utilizar postes, para a elevação dos condutores, que são instalados levando em consideração a força, peso e ângulo que os cabos exercem sobre a estrutura e os obstáculos que podem ocorrer no traçado da rede como áreas alagadas, montanhosas, rochosas e/ou vegetação densa. (ENERGISA TOCANTINS, NDU 005, 2018).

Os postes mais utilizados são constituídos por concreto (no formato duplo T ou circular) ou de fibra de vidro, com altura de 10m a 13m, onde, na parte superior são instalados conforme o tipo de condutor, ângulo e tensão classificados como estruturas primárias monofásicas (U1, U2, U3, U3-U3, U4, cujas características de instalação são determinadas no item 5.1.1. da NDU 005). Na parte inferior (base) o engastamento é realizado, observando o tipo de solto, através de base simples, concretada ou tubulão no caso de terrenos pantanosos. (ENERGISA TOCANTINS, NDU 005, 2018).

2.3 SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

A geração de energia através da energia solar fotovoltaica é um sistema no qual converte a irradiação solar em eletricidade, esse processo ocorre basicamente através da captação de luz solar por meio de módulos fotovoltaicos (painéis solares) gerando uma Corrente Contínua – CC que é convertida em Corrente Alternada – CA por intermédio do inversor CC/CA (PORTAL SOLAR, 2014-2022).

Existem dois tipos de sistema de geração solar fotovoltaica, sendo eles: o conectado à rede, onde o sistema é conectado ao sistema de distribuição local no qual a energia elétrica não consumida é injetada na rede elétrica gerando créditos de energia que podem ser consumidos diariamente e a não conectada a rede que é totalmente autônomo e a energia elétrica que não é consumida é armazenado em baterias (PORTAL SOLAR, 2014-2022).

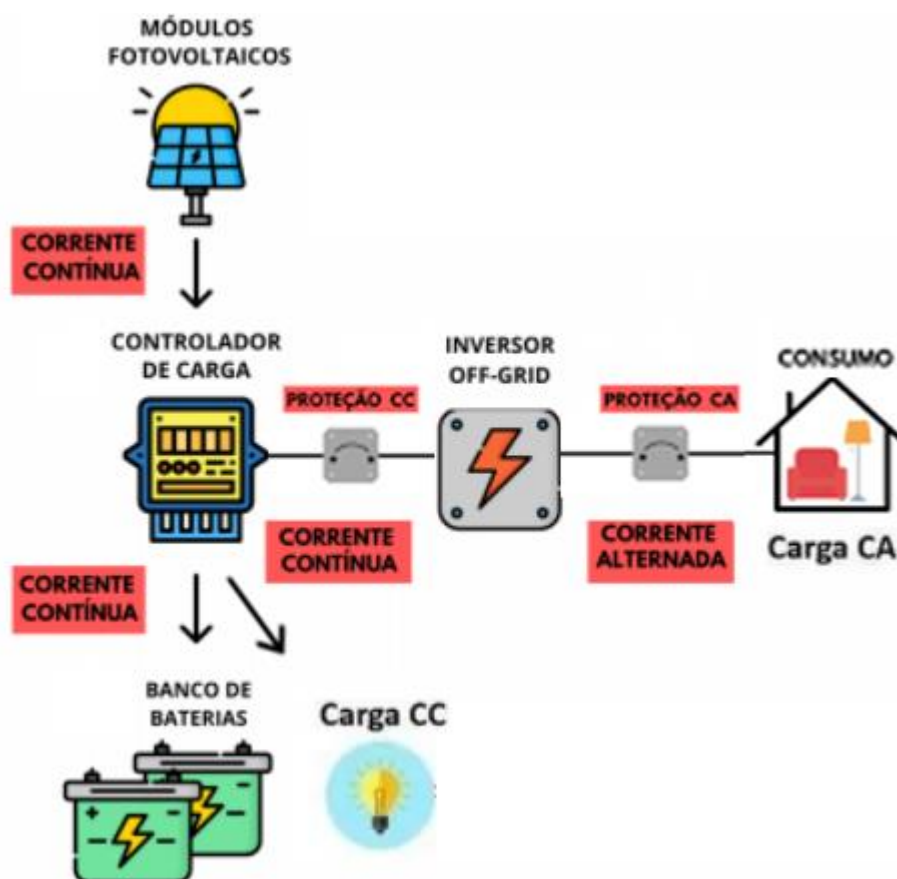
O uso de uma fonte inesgotável e autonomia do sistema isolado fez com que esse sistema se tornasse ideal para atendimento da comunidade localizada em áreas remotas, proposta no qual é abordada no programa MLpA. Portanto, no presente estudo será destacado o sistema isolado de geração de energia solar fotovoltaica em comparação com o atendimento através de redes de distribuição rural.

2.3.1 Sistema isolado de energia solar fotovoltaica

O sistema autônomo de energia tem como principal função fornecer energia elétrica a carga sem necessitar do auxílio de outra fonte de energia elétrica durante todo período de utilização (ENERGÊS,2022). Consequentemente, para o dimensionado é considerando a radiação solar diária média mensal, pois a mesma varia de acordo com sua localidade (INTELBRAS, 2022).

A captação da radiação solar é realizada por meio de módulos fotovoltaicos (painéis solares) gerando uma corrente elétrica CC que é conectada a um controlador de carga no qual as saídas são conectadas ao banco de baterias, cargas CC (quando necessário) e ao inversor, onde ocorre a conversão CC/CA, conforme demonstra a Figura 6 (ENERGÊS,2022).

Figura 7 – Sistema solar fotovoltaico isolado



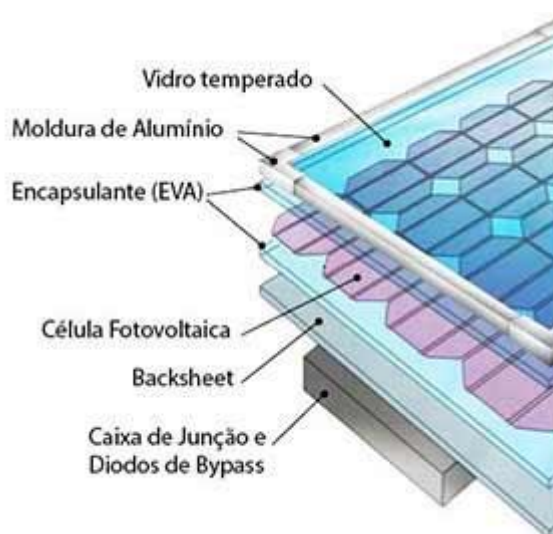
Fonte: ENERGÊS, <https://energes.com.br/do-inicio-ao-fim-sistema-solar-fotovoltaico-off-grid/>

As características dos equipamentos utilizados e dimensionamento nesse tipo de sistema de geração estão dispostas a seguir:

2.3.1.1 Módulos fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos são compostos por um agrupamento de células, conectadas eletricamente por condutores de cobre ou prata, onde a quantidade de células determinará a potência do módulo e a tensão de saída (varia de acordo com a temperatura e radiação solar submetida) (ENERGÊS,2022). As células fotovoltaicas são conectadas em série através de condutores de cobre ou prata, são cobertas por uma lâmina de vidro temperado, isoladas por meio de encapsulamento com EVA e emoldurado com alumínio. A parte posterior do módulo é composta por uma cobertura onde é utilizando um material semelhante a um tipo de polímero branco e a caixa de junção com dois condutores e os diodos de *by-pass* utilizados para eliminar pontos quentes, a Figura 7 trás a exemplificação da composição do módulo fotovoltaico (PLOTTER,2022).

Figura 8 – Composição do módulo fotovoltaico



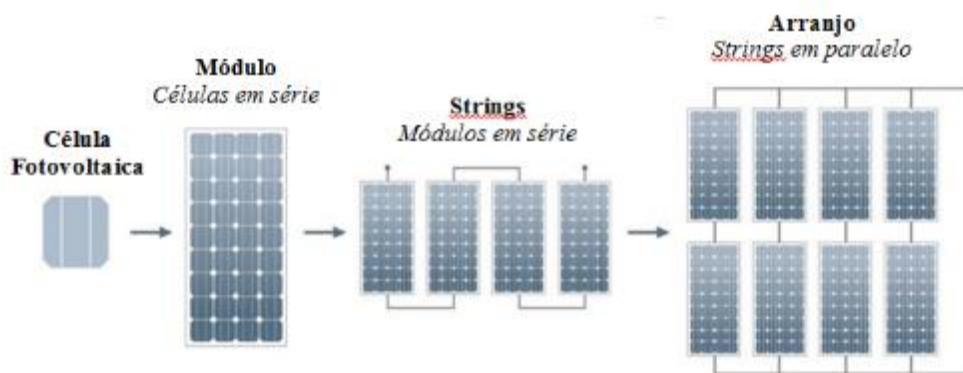
Fonte: PLOTTER, <http://www.plotter.eng.br/como-funciona-o-painel-solar-fotovoltaico-placas-fotovoltaicas>

As células fotovoltaicas são a parte principal dos módulos, elas são dispositivos semicondutores compostas por silício e materiais dopantes (fósforo e boro), esses materiais permitem o surgimento de camadas positivas e negativas onde ocorrerá uma circulação de corrente na existência de diferença de potencial devido à exposição na luz solar e conexão com a carga. Por meio desse efeito fotovoltaico é realizada a transformação de radiação solar em energia elétrica. A classificação das células é de acordo com o material utilizado para a dopagem sendo as principais: monocristalinas, policristalinas e filme fino (PORTAL SOLAR, 2014-2022).

- *Células monocristalinas*: São confeccionadas a partir de um único cristal de silício, apresenta uma cor uniforme, um formato octogonal e proporcionam ao módulo uma alta eficiência (PORTAL SOLAR, 2014-2022).
- *Células policristalinas*: São constituídas por diversos monocristais de silício que dificultam o movimento dos elétrons ocasionando uma eficiência menor que as monocristalinas (PORTAL SOLAR, 2014-2022).
- *Células filme fino*: Possuem diferentes matérias fotovoltaicas como silício amorfo, telureto de cádmio, cobre, índio e gálio seleneto. Independente da composição, esse tipo de célula possui a menor eficiência entre as existentes (PORTAL SOLAR, 2014-2022).

Para atender a necessidade de consumo, é necessário definir a potência dos módulos e verificar qual associação será realizada para atingir a potência total necessária para o atendimento. A associação dos módulos é realizada através da interligação entre determinados agrupamentos de módulos (*strings*) e/ou arranjos desde que não produza correntes superiores ao admitido pelo controlador de carga, a associação pode ser em série onde existe a soma das tensões com o mesmo valor de corrente nas *strings* ou em paralelo na qual a corrente entra a conexão das *strings* são somadas e a tensão permanece a mesma, conforme ilustrado na Figura 8 (MASCARELLO, 2017).

Figura 9 – Configuração dos módulos



Fonte: Monografia, <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/169300/001046323.pdf?sequence=1>

2.3.1.2 Controlador de carga

O controlador de carga é um dispositivo eletrônico responsável por regular a tensão gerada através dos módulos. Imprescindível em sistemas isolados, pois oferecem uma

interface entre os módulos e baterias e/ou cargas CC, gerenciando o carregamento para que não sobrevenha um excesso de carga ou descarregamento das baterias. Os controladores de carga são compostos por circuito de controle de comutação e são classificados de acordo com seu tipo de tecnologia. Os mais comuns são o Modulação por Largura de Pulso - PWM e *Ponto Rastreador de Potência Máxima* – MPPT (ENERGÊS,2022).

- *Controlador de carga PWM*: A tecnologia de modulação por largura de pulso visa maximizar uso e prolongar a vida útil da bateria onde existem chaveamentos e verificação da tensão nos terminais da bateria provocando um desperdício de energia devido à limitação da geração dos módulos em uma tensão correspondente as baterias (ENERGÊS,2022).

Figura 10 – Controlador de carga PWM



Fonte: Solar energias renováveis, <http://loja.solear.net.br/eletronicos/controladores-de-carga/solar/controlador-carga-painel-solar-30a-usb-1224v-pwm>

- *Controlador de carga MPPT*: Esse tipo de tecnologia permite a operação simultânea dos níveis de tensão mantendo o carregamento da bateria de forma a garantir a eficiência e segurança sem que a tensão seja imposta aos módulos, viabilizando sua utilização por não ocorrer uma limitação de tensão de geração e evitando o desperdício (ENERGÊS,2022).

Figura 11 – Controlador de carga MPPT



Fonte: Neosolar, <https://www.neosolar.com.br/loja/controlador-carga-mppt-30a-12-24v-epever-xtra-3210n.html>

2.3.1.3 Banco de baterias

A produção de energia e a necessidade de consumo no decorrer do dia e da noite, fez com que o sistema de armazenamento da energia elétrica produzida se tornasse uma das principais composições do sistema isolado. Isso porque nem sempre é possível coincidir o consumo com a geração, uma vez que a geração ocorre somente no período do dia. Usualmente em sistemas isolados, são utilizadas baterias estacionárias de três tipos: chumbo-ácido, níquel-cádmio e íons de lítio (ENERGÊS,2022).

- *Bateria estacionária de chumbo-ácido:* Esse tipo de bateria possui componentes eletroquímicos (chumbo e ácido sulfúrico) onde atuam em dois eletrodos sendo um de chumbo esponjoso (ativo negativo) e outro de dióxido de chumbo em pó (ativo positivo). O ácido sulfúrico diluído atua como eletrólito. No momento de atuação da descarga da bateria, os materiais positivos e negativos são transformados em sulfato de chumbo (EMBARCADOS, 2020).

Figura 12 – Bateria de chumbo ácido



Fonte: Portal solar, <https://www.portalsolar.com.br/bateria-solar.html>

- *Bateria estacionária de níquel-cádmio:* Possuem maior densidade de energia, potência e ciclos devido ao material utilizado nas placas. São compostas por aço sólido na qual é relativamente imune pelos agentes químicos que mantem a integridade mecânica e a condutividade elétrica durante a vida útil da bateria. Esse tipo de bateria pode ser recarregado diversas vezes, porém pode levar ao conhecido “vício de bateira” devido em consequência do efeito de memória (EMBARCADOS, 2020).

Figura 13 – Bateria de níquel-cádmio



Fonte: Secpower energia confiável, <https://secpower.com.br/bateria/bateria-niquel-cadmio-alcalina-changhong-serie-kgm/#>

- *Bateria estacionária de íons de lítio:* São leves, compactas, não possuem efeito de memória, possuem um alto ciclo de vida, alta densidade energética e estabilidade térmica que possibilita a utilização em locais com alta temperatura, além de não possuir em sua composição materiais tóxicos. Podem ser classificadas como baterias de metal de lítio, baterias de enxofre de lítio, baterias de titanato de lítio, baterias de polímero de lítio e baterias de lítio fosfato de ferro. É a mais segura e são utilizadas para uma alta densidade de potência e corrente de descarga e uma maior estabilidade térmica e química (EMBARCADOS, 2020).

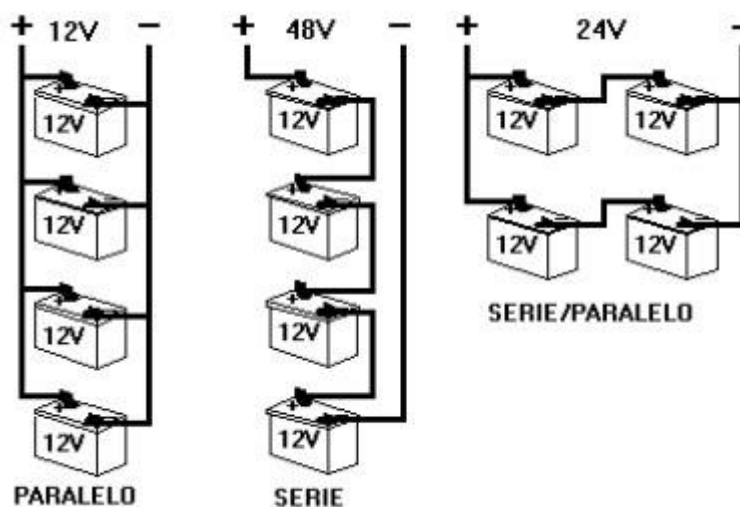
Figura 14 – Bateria de íons de lítio



Fonte: Neosolar, <https://www.neosolar.com.br/loja/bateria-solar-litio-lfp-5kwh-unipower-upflp48-6000-ciclos-48v.html>

Na utilização de um banco de baterias é possível que um conjunto de baterias, independente do tipo, possam ser associadas dependendo da aplicação desejada. Elas podem ser conectadas em série onde a corrente elétrica não se altera e a tensão final será o somatório total da tensão individual de cada bateria, em paralelo no qual a tensão final permanece e a corrente final é somatório individual da corrente de cada bateria e a associação série paralelo que combina os outros dois tipos de associação (ENERGY SHOP, 2019)

Figura 15 – Associação das baterias



Fonte: Arduino, Internet das Coisas e Computação vestível,
http://www.um.pro.br/arduino/index.php?c=Bateria_Litio

2.3.1.4 Inversor para sistemas isolados

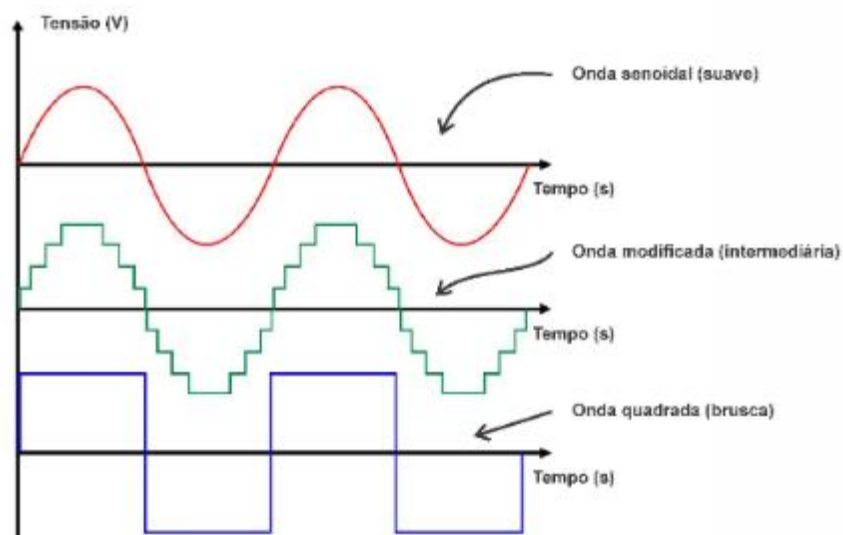
Os inversores são responsáveis pela conversão da energia gerada através dos módulos fotovoltaicos, onde essa geração em corrente contínua é transformada em corrente alternada para alimentar as cargas. Para o dimensionamento e utilização do inversor em um sistema autônomo é necessária as seguintes verificações: tensão de entrada em corrente contínua, tensão de saída em corrente alternada e as características da carga como potência, pico de partida, variação de tensão, forma de onda e frequência (BRETO, 2018).

Considerando as verificações necessárias, é preciso observar as características elétricas dos inversores como:

- Potência nominal deve ser superior que a potência total das cargas (BRETO, 2018);
- Capacidade de sobrecarga na qual o inversor entrega uma potência maior que a nominal durante um período de tempo com o intuito e atender cargas que partem com elevados picos de corrente como em motores elétricos (BRETO, 2018);
- Rendimento e eficiência decorrente da variação de potência em virtude do consumo. A relação entre as potências de entrada e saída devem atender uma eficiência acima de 90 % (BRETO, 2018);
- Autoconsumo devido à capacidade de o inversor reduzir perdas quando está a vazio através do sistema de standby (BRETO, 2018);
- Frequência de 50Hz ou 60Hz (BRETO, 2018).

- Proteções (inversão de polaridade, sobrecarga na saída, subtensão, sobretensão, curto-circuito na saída e sobreaquecimento) (BRETO, 2018);
- A forma de onda: senoidal pura, senoidal modificada e onda quadrada na qual definem os tipos de inversores (Figura 16) (BRETO, 2018).

Figura 16 – Formas de onda



Fonte: TRX Solar, <https://loja.trxsolar.com/loja/noticia.php?loja=655927&id=23>

As classificações dos inversores são conforme as formas de onda de saída, consequentemente são disponibilizadas no mercado três tipos de inversores para sistema autônomo:

- *Inversores de onda senoidal pura*: Produzem tensões de onda com baixa distorção harmônica formando uma onda senoidal igual e/ou melhor, que a da rede de energia elétrica, possibilitando ser utilizada para todos os tipos de equipamentos (ENERGÊS,2022);
- *Inversores de onda senoidal modificada*: Possuem um sinal com distorção harmônica, remetendo a uma junção da onda senoidal pura e quadrada. Portanto, esse tipo de inversor deve ser utilizado em instalações residenciais como lâmpadas e eletrodomésticos (ENERGÊS,2022);
- *Inversores de onda quadrada*: São inversores econômicos e simples, porém com alta distorção harmônica e baixa eficiência, possibilitando aplicações somente para a alimentação de equipamentos com carga resistiva (ENERGÊS,2022).

2.3.1.5 Condutores e proteções

Os condutores utilizados no sistema são cabos de cobre unipolares responsáveis por interligar todos os equipamentos na parte CC e a carga no lado CA, promovendo a circulação de energia. O cabeamento CC são mais expostos aos raios UV e a temperaturas elevadas portanto é necessário que tenham isolamento dupla e atendam aos critérios de dimensionamento conforme estabelecido pela Norma Brasileira - NBR 16612. O cabeamento CA é o mesmo utilizado em instalações elétricas e dimensionado conforme a Norma Brasileira - NBR 5410 (ENERGÊS,2022).

2.3.1.6 Estrutura de fixação

As estruturas de fixação são de alumínio, aço inoxidável ou galvanizado a fogo e são definidas de acordo com os módulos fotovoltaicos a serem utilizados. O local de instalação pode ser solo ou diversos tipos de telhado. Devido a exposição a forças climáticas e físicas, todas as estruturas necessitam obter resistência a corrosão, variações térmicas, cargas mecânicas e variações climáticas, além de atender os critérios estabelecidos na Norma Brasileira - NBR 6123. Quando utilizadas para suporte de baterias é indicado utilizar materiais não inflamáveis (ENERGÊS,2022).

2.3.1.7 Dimensionamento

O dimensionamento do sistema de geração solar fotovoltaico é utilizado com o intuito de determinar qual a potência total dos módulos, inversor e capacidade do controlador de carga e banco de baterias. Primeiramente para efetuar o dimensionamento é necessário realizar a verificação do consumo energético diário em *Watt* - W ou Wh/dia através do cálculo do consumo médio dos aparelhos. Com o consumo total é possível calcular a potência total do sistema de geração, dimensionar o controlador de carga, dimensionar o banco de baterias e a potência do inversor. O dimensionamento dos condutores e proteções é realizado conforme orientações das normas, conforme já citado no item “condutores e proteções” (INTELBRAS, 2022).

- *Verificação de consumo energético diário (Wh)*: Para a verificação é necessário realizar a computação de todos os equipamentos e aparelhos elétricos, considerando a

quantidade de equipamentos com suas respectivas potências *Watt*, vezes a quantidade média diária de utilização. O somatório do consumo diário de cada equipamento resulta no consumo total diário da edificação (INTELBRAS, 2022).

Tabela 1 – Exemplo de levantamento de consumo diário.

EQUIPAMENTO	POTÊNCIA (W)	QUANTIDADE	MÉDIA DE CONSUMO (horas/dia)	CONSUMO DIÁRIO (kWh/dia)
Lâmpadas (Quartos)	40	2	4	0,32
Lâmpadas (Cozinha e área)	40	2	6	0,48
Equipamento X	100	1	24	2,40
Equipamento Y	60	1	4	0,24
Consumo total diário				3,44

Fonte: Elaboração Própria

- *Potência total do sistema de geração (W_{pico}):* Além do consumo médio diário é necessário levar em consideração a irradiação solar da região onde o sistema será instalado, disponibilizado pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica - CRESESB ou pelo Atlas Brasileiro de Energia Solar e a quantidade total de horas de insolação sobre os módulos. Com isso, utiliza-se a equação 1 (ENERGISA TOCANTINS, NDU 028, Item 9.9.5, pág. 50, 2018).

$$\text{Potência total do sistema de geração (Wp)} = \frac{\text{Consumo (Wh/dia)}}{\text{HSP (h)} \times \text{PR}} \quad (1)$$

Onde:

- Consumo: Consumo diário em função do consumo mensal do sistema (ENERGISA TOCANTINS, NDU 028, Item 9.9.5, pág. 50, 2018);
- Horas de Sol Pleno - HSP: Nível médio de irradiação solar global no plano inclinado do mês mais crítico na região (PINHO, 2014). De acordo com informações do Centro de Referência para Energia Solar Eólica – CRESESB, o valor mensal mais crítico de irradiação é de 5,26 kWh/m² considerando um ângulo de inclinação de 9°, no estado do Tocantins. As temperaturas em média, máximas e mínimas registradas são de 23 °C a 35 °C.
- Performance Ratio - PR: Fator de eficiência conjunta do sistema (ENERGISA TOCANTINS, NDU 028, Item 9.9.5, pág. 50, 2018).

O número de módulos a ser utilizado no sistema de geração é calculado respeitando os limites de geração do sistema e conforme equação 2: (ENERGISA TOCANTINS, NDU 028, Item 9.9.5, pág. 51, 2018).

$$n^{\circ} \text{ de módulos} = \frac{\text{Potência (Wp)}}{\text{Potência do módulo (Wp)}} \quad (2)$$

- *Dimensionamento do controlador de carga:* É preciso levar em consideração a maior corrente entre o sistema de geração e o consumo para que a corrente do controlador de carga seja superior a corrente mais elevada do sistema. Para o dimensionamento da corrente máxima do controlador de carga é necessário considerar o número de módulos fotovoltaicos em paralelo. Consequentemente, a configuração dos arranjos a serem conectados em série e em paralelo no controlador de carga, pode ser calculada através das equações 3 e 4 (ELETROBRAS, 2017).

$$n^{\circ} \text{ de módulos em série} = \frac{1,2xVsist}{VmpTmax} \quad (3)$$

$$n^{\circ} \text{ de módulos em paralelo} = \frac{\left(\frac{Pm}{Vsist}\right)}{Imp} \quad (4)$$

Onde:

- 1,2 : Constante na qual considera que um módulo fotovoltaico tem que carregar uma bateria até uma tensão 20% acima do nominal, conforme Manual de Engenharia (GTES, 2014);
- Vsist (Vcc): Tensão nominal do sistema (ELETROBRAS, 2017);
- VmpTmax: Tensão de máxima potência quando o sistema estiver operando na temperatura mais elevada para o módulo em uma dada localidade (ELETROBRAS, 2017).
- Pm (Wp): Potência do painel fotovoltaico (ELETROBRAS, 2017);
- Imp: Corrente de cada módulo no ponto de máxima potência (ELETROBRAS, 2017);

Portanto, o dimensionamento da corrente máxima do controlador de carga é dado pela equação 5.

$$Ic = \text{Fator de segurança} \times n^{\circ} \text{ de módulos em paralelo} \times Isc \quad (5)$$

Onde:

- Fator de segurança: segundo o manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos conforme Manual de Engenharia (GTES, 2014), o valor mínimo a ser utilizado é de 1,25 (25%) (ENERGISA TOCANTINS, NDU 028, 2018);
- I_c : Corrente máxima do controlador de carga (ENERGISA TOCANTINS, NDU 028, 2018);
- I_{sc} : Corrente de curto circuito de acordo com o valor informado nos dados técnicos (datasheet) do módulo a ser utilizado (ENERGISA TOCANTINS, NDU 028, 2018);
- *Dimensionamento da bateria*: As baterias são calculadas de acordo com a corrente total produzida pelos módulos multiplicada pelas horas de insolação e garantindo um armazenamento de energia o suficiente para o consumo em dois dias. São definidas com base nas seguintes equações 6, 7 e 8 (ENERGISA TOCANTINS, NDU 028, 2018).

$$Energia\ útil\ (Wh) = Dias \times (1 + perdas) \times Consumo\ (Wh/dias) \quad (6)$$

$$Capacidade\ útil\ (Ah) = \frac{Energia\ útil\ (Wh)}{Tensão\ (V)} \quad (7)$$

$$Capacidade\ (Wh) = \frac{Capacidade\ útil\ (Ah)}{DoD} \quad (8)$$

Onde:

- Dias: Autonomia mínima de 2 dias (ENERGISA TOCANTINS, NDU 028, 2018);
- Tensão: 24V ou 48V (ENERGISA TOCANTINS, NDU 028, 2018);
- Consumo: Consumo diário em função do consumo mensal do sistema (ENERGISA TOCANTINS, NDU 028, 2018);
- Perdas: Perdas na descarga da bateria, perdas na conversão e perdas ôhmicas (ENERGISA TOCANTINS, NDU 028, 2018);
- DoD: Profundidade de descarga máxima para proteger o banco de baterias de descarga profunda, é adotado valor mínimo de 80% em C10 (ENERGISA TOCANTINS, NDU 028, 2018);
- *Dimensionamento do inversor*: Possui o dimensionamento baseado na potência total das cargas a serem alimentadas, necessitando de uma potência superior que o somatório de todos os equipamentos, considerando possíveis aumentos de carga e custos com manutenção, operação e substituição dos equipamentos (ENERGISA TOCANTINS, Base de dados, 2022).

2.4 ATENDIMENTO A CONSUMIDORES EM ÁREAS REMOTAS

O atendimento a consumidores localizados em regiões rurais e remotas foi possibilitado através da instauração do Programa Luz Para Todos (LpT) e do Programa Mais Luz Para Amazônia (MLpA) nos estados da Amazônia Legal, com o objetivo de promover o acesso à energia elétrica, ocasionando o desenvolvimento social e econômico dos beneficiados (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2021).

§ 3º Consideram-se regiões remotas os pequenos grupamentos de consumidores situados em sistema isolado, afastados das sedes municipais, e caracterizados pela ausência de economias de escala ou de densidade, conforme disposto no inciso II do caput do art. 2º do Decreto nº 7.246, de 28 de julho de 2010. (Art.1º, DECRETO Nº 10.221 DE 05/02/ 2020).

Em geral, os beneficiários são famílias de baixa renda inscritas no Cadastro Único de Programas Sociais do Governo Federal. Este tem por objetivo o desenvolvimento social e econômico em assentamentos rurais, comunidades indígenas, territórios quilombolas e as demais comunidades localizadas em reservas extrativistas ou impactadas diretamente por empreendimentos de geração ou de transmissão de energia elétrica, escolas, postos de saúde e poços de água comunitária e famílias residentes em unidades de conservação (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2021).

Atualmente, com a obrigatoriedade imposta através do Decreto nº 10.221, de 5 de fevereiro de 2020 e de acordo com a Resolução Normativa ANEEL Nº 1.000, de 7 de Dezembro de 2021 a alternativa para atendimento de Sistema individual de geração de energia elétrica com fonte intermitente - SIGFI ou Microssistemas isolados de geração e distribuição de energia elétrica – MIGDI, por meio de sistema isolados é concedida da seguinte maneira:

Art. 515. A distribuidora deve avaliar tecnicamente a alternativa para o atendimento por meio de sistemas isolados, a exemplo de sistemas do tipo SIGFI ou MIGDI, quando:

I - a unidade consumidora estiver localizada em regiões remotas, caracterizadas por grande dispersão de consumidores e ausência de economia de escala; ou

II - existirem restrições técnicas ou ambientais que impeçam o atendimento por rede convencional. (ANEEL, RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 1.000, 07/12/2021).

2.4.1 Programa Nacional de Universalização do Acesso e uso da Energia Elétrica - Luz Para Todos - LpT

O Programa foi concebido como instrumento de desenvolvimento e inclusão social, pois, de acordo com o censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, no ano 2000 existiam dois milhões de domicílios rurais não atendidos pela prestação dos serviços de energia elétrica. Portanto, aproximadamente dez milhões de brasileiros viviam, no meio rural, sem acesso a esse serviço público, e cerca de noventa por cento dessas famílias possuíam renda mensal inferior a três salários-mínimos (Redação dada pelo MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2021).

O Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica “Luz para Todos” foi instaurado através do Decreto nº 4.873, de 11 de novembro de 2003, com o objetivo de levar energia elétrica a domicílios rurais cujas famílias possuíam renda mensal inferior a três salários mínimos, até o ano de 2008 (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2021).

O atendimento do decreto vigente até 2008 foi prorrogado para o final do ano de 2010, por meio do Decreto nº 6.442, de 25 de abril de 2008, com objetivo de ampliar a inclusão de novas famílias localizadas sem energia elétrica, durante a execução do programa entre os anos de 2003 a 2008. Posteriormente, mediante o Decreto nº 7.324, de 5 de outubro de 2010, o Governo Federal assegurou a prorrogação do prazo para até 31 de dezembro de 2011, com o objetivo de garantir a finalização das obras contratadas ou que estivessem com contrato em andamento, até 30 de outubro de 2010 (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2021).

No entanto, novas demandas surgiram, em sua maioria, localizadas nas Regiões Norte e Nordeste do País no qual concentra parte da população Quilombola, Indígenas além de comunidades localizadas em Unidades de Conservação, possibilitando a instituição do programa através do Decreto nº 7.520, de 8 de julho de 2011, para o período de 2011 a 2014, sendo prorrogado pelo Decreto nº 8.387, de 30 de dezembro de 2014, até o ano de 2018 (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2021).

O Decreto nº 7.520 também foi alterado pelo Decreto nº 8.493, de 15 de julho de 2015, com a introdução do artigo 1º-B, estabelecendo que os atendimentos às Regiões Remotas dos Sistemas Isolados deverão ser contratados pelo Programa, aplicando-se os regramentos adotados para os Contratos firmados no âmbito do Sistema Interligado Nacional - SIN. (Redação dada pelo MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2021).

Com objetivo de atender a população que não possuía acesso ao programa, no caso de regiões remotas, em 27 de abril de 2018, foi publicado o Decreto nº 9.357, prorrogando o Programa até o ano de 2022.

Os critérios de atendimento ao programa estão dispostos na Resolução Normativa da ANEEL Nº 488/2012, na qual estabelece as condições para revisão dos planos de universalização dos serviços de distribuição de energia elétrica na área rural, o atendimento ao Programa Mais Luz Para Todos foi normatizado da seguinte maneira:

§ 5º A distribuidora deve efetuar o atendimento por meio de extensão de rede convencional quando a obra for rentável ou a unidade consumidora estiver localizada até 5 (cinco) quilômetros da rede de distribuição mais próxima, exceto nas seguintes situações:

I - seja necessária a utilização de cabos subaquáticos ou isolados;

II - existam limitações técnicas ou ambientais; ou

III - seja necessária a complementação de fases na rede existente.

§ 6º Para os casos não enquadrados no parágrafo anterior, a obra a ser executada para o atendimento deve ser escolhida considerando o menor custo entre o atendimento através de extensão de rede ou através de sistemas do tipo SIGFI ou MIGDI. (Art. 8º, ANEEL, RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 488, 15/05/2012).

2.4.2 Programa Nacional de Universalização do Acesso e uso da Energia Elétrica na Amazônia Legal - Mais Luz para a Amazônia – MLpA

No decorrer dos anos de implantação do LpT foi identificado que parte da população residente em regiões remotas, provavelmente seriam atendidos por meio de extensão de rede elétrica convencional, devido questões econômicas e/ou ambientais. Portanto o Governo Federal instituiu o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica na Amazônia Legal – Mais Luz para a Amazônia (MLpA) através do Decreto nº 10.221, de 5 de fevereiro de 2020 com o objetivo promover e garantir o acesso à energia elétrica nas regiões remotas dos estados da Amazônia Legal, bem como o desenvolvimento social e econômico das comunidades beneficiadas (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2021).

§ 1º As concessionárias, as permissionárias e as autorizadas de serviço público de instalações de distribuição de energia elétrica que atuam na Amazônia Legal ficam obrigadas a aderir ao Programa Mais Luz para a Amazônia, considerada a necessidade de atendimento à totalidade do mercado prevista na Lei nº 12.111, de 9 de dezembro de 2009 (Art.2º, ANEEL, RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 1.000, 07/12/2021).

O atendimento deverá ser realizado por meio de fontes renováveis de geração de energia elétrica com o prazo de vigência é até dia 31 de dezembro de 2022 com a possibilidade de prorrogação para que seja concluída a universalização do acesso (ANEEL, RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 1.000, 2021). Os critérios de atendimento ao programa estão dispostos a seguir:

O atendimento através de sistemas isolados foi classificado observando a quantidade de unidades consumidoras a serem atendidas. Portanto, são definidas como: Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente – SIGFI, na qual o sistema de geração atende uma unidade consumidora e Microssistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica – MIGDI, onde o sistema de geração tem como finalidade atender mais de uma unidade consumidora associada a uma rede de distribuição local (microrrede) de energia elétrica. (ANEEL, Art.515, 2021)

A Resolução Normativa Nº 1.000/2021 da ANEEL define os procedimentos e condições gerais de fornecimento para o atendimento por meio dos sistemas isolados. De acordo com disposto no Art. 516, os critérios de atendimento e execução da obra são dispostos da seguinte maneira:

Art. 516. A obra a ser executada para o atendimento ao consumidor por meio de sistemas isolados deve observar os seguintes critérios:

I - o custo da obra deve considerar os critérios de mínimo dimensionamento técnico possível e mínimo custo global, observados os padrões de qualidade da prestação do serviço e de investimento prudente;

II - a obra deve disponibilizar potência mínima capaz de atender as necessidades básicas dos domicílios, inclusive iluminação, comunicação e refrigeração;

III - o projeto deve contemplar um horizonte de planejamento de 5 (cinco) anos;

IV – além do custo de instalação, devem fazer parte da análise da solução a ser adotada os custos projetados de operação e manutenção dentro do horizonte de planejamento estabelecido; e

V - os projetos devem observar as condicionantes ambientais, a sua sustentabilidade e a atividade de capacitação dos consumidores e demais usuários (ANEEL, RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 1.000, 07/12/2021).

Visando garantir disponibilidade de energia para os beneficiados através dos sistemas MIGDI ou SIGFI, o Art. 519 da Resolução Normativa Nº 1.000/2021 da ANEEL disponibiliza tabela padronizando os requisitos mínimos de disponibilidade mensal de energia de 45 a 180kW por unidade consumidora – UC a depender do porte do sistema, conforme disposto na tabela da Figura 17.

Figura 17 – Disponibilidade de energia, tabela Art. 519

Disponibilidade mensal garantida (kWh/ mês /UC)	Consumo de referência (Wh/dia/UC)	Potência mínima (W/UC)
45	1.500	700
60	2.000	1.000
80	2.650	1.250
120	4.000	1.500
180	6.000	1.800

Fonte: ANEEL, RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 1.000,2021

Salienta-se que qualquer necessidade de aumento de carga deve seguir o disposto na REN nº 1000 da ANEEL, conforme exposto a seguir:

Art. 521. A distribuidora deve atender gratuitamente à solicitação de aumento de carga nos sistemas do tipo MIGDI ou SIGFI que possa ser efetivada com a utilização de sistemas com disponibilidade mensal menor ou igual a 80 kWh/UC, desde que decorrido pelo menos um ano desde a data da conexão inicial ou desde o último aumento de carga. (ANEEL, RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 1.000, 2021)

Os critérios de atendimento ao conforme as modalidades estão dispostas a seguir:

2.4.2.1 Sistema individual de geração de energia elétrica com fonte intermitente - SIGFI

O atendimento por meio do SIGFI no estado do Tocantins é normatizado através da Norma de Distribuição Unificada – NDU 028. Esse sistema é conectado apenas a uma unidade consumidora e deve ser capaz de atender as necessidades básicas dos domicílios, incluindo iluminação, comunicação e refrigeração. Através da fonte solar deve-se atender o consumo com autonomia de 36 horas na ausência total da fonte primária.

Os critérios de decisão para o atendimento são realizados da seguinte maneira: através do sistema isolado é fundamental a realização de um levantamento de carga, na qual computará a carga total e o consumo diário da UC para que seja verificado qual SIGFI será adequado. Os SIGFI's são classificados de acordo com o consumo diário, portanto possuem as seguintes limitações em relação a cada tipo de SIGFI, conforme disposto no item 7.1, NDU028,2022:

- *SIGFI 45*: consumo ≤ 1.500 Wh/dia, com a demanda máxima ≤ 700 W;
- *SIGFI 60*: consumo ≤ 2.000 Wh/dia, com a demanda máxima ≤ 1.000 W;
- *SIGFI 80*: consumo ≤ 2.650 Wh/dia, com a demanda máxima ≤ 1.250 W;
- *SIGFI 120*: consumo ≤ 4.000 Wh/dia, com a demanda máxima ≤ 1.500 W;
- *SIGFI 180*: consumo ≤ 6.000 Wh/dia, com a demanda máxima ≤ 1.800 W. (ENERGISA TOCANTIS, NDU028, 2022)

Observação: Devido plano de obras elaborado pela Energisa Tocantins aprovado pela Eletrobras, foi padronizado internamente o SIGFI 160 no qual o consumo ≤ 5300 Wh/dia;

Os exemplos de levantamento de carga para cada tipo de SIGFI estão discriminados no item 7.1, NDU028, 2022 de acordo com as tabelas das Figuras 18-22.

Figura 18– Disponibilidade de energia SIGFI45, tabela item 7.2

Equipamento	Potência (W)	Quantidade (unidade)	Horas/dia	Consumo (Wh)
LED	10	2	4	80
Refrigerador	90	1	12	1.080
Carregador de celular	15	2	3	90
Televisão	80	1	3	240
Total				1.490

Fonte: ENERGISA TOCANTINS, NDU 028,2022

Figura 19 – Disponibilidade de energia SIGFI60, tabela item 7.2

Equipamento	Potência (W)	Quantidade (unidade)	Horas/dia	Consumo (Wh)
LED	10	5	4	200
Refrigerador	90	1	12	1.080
Carregador de celular	15	2	3	90
Ventilador	60	1	4	240
Televisão	80	1	3	240
Demais equipamento	40	1	3	120
Total				1.970

Fonte: ENERGISA TOCANTINS, NDU 028,2022

Figura 20 – Disponibilidade de energia SIGFI80, tabela item 7.2

Equipamento	Potência (W)	Quantidade (unidade)	Horas/dia	Consumo (Wh)
LED	10	6	6	360
Refrigerador	90	1	12	1.080
Carregador de celular	15	2	3	90
Ventilador	60	2	4	480
Televisão	80	1	4	320
Demais equipamentos	100	1	3	300
Total				2.630

Fonte: ENERGISA TOCANTINS, NDU 028,2022

Figura 21 – Disponibilidade de energia SIGFI120, tabela item 7.2

Equipamento	Potência (W)	Quantidade (unidade)	Horas/dia	Consumo (Wh)
LED	10	8	6	480
Refrigerador	90	1	24	2.160
Carregador de celular	15	2	3	90
Ventilador	60	1	5	300
Televisão	80	1	4	320
Demais equipamentos	300	1	2	600
Total				3.950

Fonte: ENERGISA TOCANTINS, NDU 028,2022

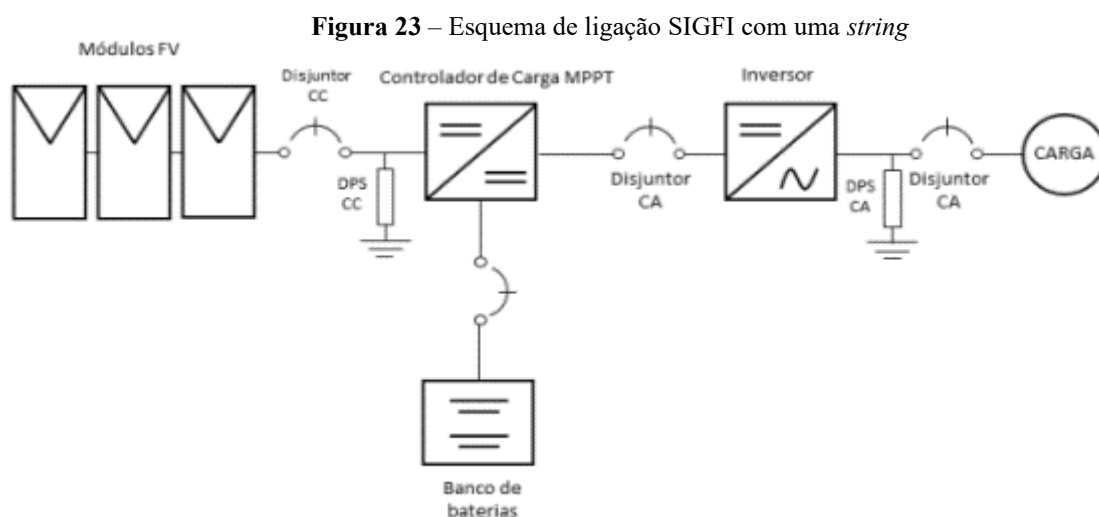
Figura 22 – Disponibilidade de energia SIGFI180, tabela item 7.2

Equipamento	Potência (W)	Quantidade (unidade)	Horas/dia	Consumo (Wh)
LED	10	8	8	640
Refrigerador	90	1	24	2.160
Carregador de celular	15	3	3	135
Ventilador	60	3	6	1.080
Televisão	80	1	6	480
Demais equipamentos	500	1	3	1.500
Total				5.995

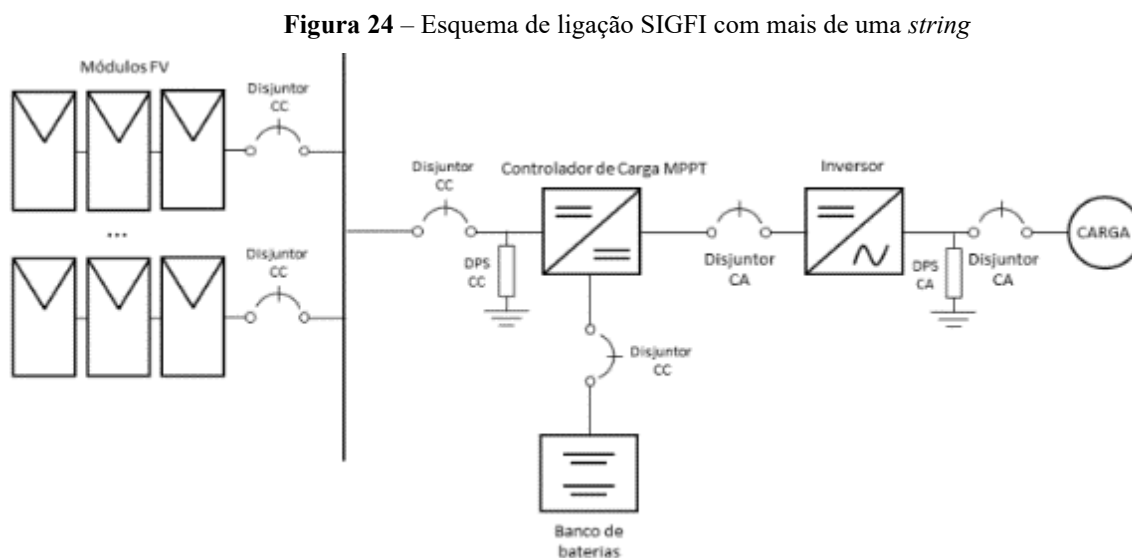
Fonte: ENERGISA TOCANTINS, NDU 028,2022

Cargas como aquecimento, refrigeração e bombeamento de água que solicitam grandes demandas possuem restrições para acesso ao sistema SIGFI, pois necessitam de equipamentos que suportem o pico de partida (ENERGISA TOCANTIS, NDU028, 2022)

A configuração básica dessa modalidade é realizada da seguinte maneira: O SIGFI é composto por sistema de geração solar fotovoltaica isolada da rede de energia elétrica, contendo os seguintes itens e materiais: módulos fotovoltaicos, controlador de carga, baterias inversor, proteções, fixação e cabamentos (ENERGISA TOCANTIS, NDU028, 2022). O dimensionamento é realizado conforme já abordado nesse trabalho no item 2.3.1.7. A instalação dos SIGF's deve seguir os esquemas de ligações conforme exposto nas Figuras 23 e 24.



Fonte: ENERGISA TOCANTINS, NDU 028,2022



Fonte: ENERGISA TOCANTINS, NDU 028,2022

Para atendimento do sistema os materiais e equipamentos são especificados da seguinte maneira:

- *Módulos fotovoltaicos:* Podem ser utilizados módulos fotovoltaicos monocristalinos ou policristalinos, para os sistemas com 45 kWh/mês e 60 kWh/mês. Deve-se utilizar módulos de 150Wp a 180Wp. Para os 80 kWh/mês, 120 kWh/mês e 180 kWh/mês, 300Wp a 330Wp e devem ser instalados em locais sem sombreamento, na angulação e direção que proporcionem a maior incidência solar durante o ano; (ENERGISA TOCANTINS, NDU 028, pág.55, 2022)

Obs.: Devido plano de obras elaborado pela Energisa Tocantins aprovado pela Eletrobras, foi padronizado internamente a potência para 300Wp a 330Wp também no SIGFI 45 (ENERGISA TOCANTINS, Base de Dados, 2022).

- *Inversores:* Os inversores utilizados serão com forma de onda senoidal pura, compatíveis com o controlador de carga, tensão CC do sistema e possuir a potência de surto suficiente para suprir a corrente de partida de cargas como refrigeradores e freezers, com tensão de entrada 24V para os SIGFIs de 45kWh/mês e 60kWh/mês e de 48V para os SIGFIs de 80kWh/mês, 120kWh/mês e 180kWh/mês e terão sua potência determinada conforme cada tipo de SIGFI conforme exposto na tabela da Figura 25 (ENERGISA TOCANTINS, NDU 028, 2022).

Figura 25 – Potência do inversor de acordo com o SIGFI

Tipo	Potência mínima do inversor (W)
SIGFI45	700
SIGFI60	1.000
SIGFI80	1.250
SIGFI120	1.500
SIGFI180	1.800

Fonte: ENERGISA TOCANTINS, NDU 028,2022

Obs.: Devido plano de obras elaborado pela Energisa Tocantins aprovado pela Eletrobras, foi padronizado internamente a tensão de 48V também para o SIGFI 45 (ENERGISA TOCANTINS, Base de Dados, 2022).

- *Bateria:* Serão utilizadas baterias com tecnologia de íons de lítio, sem limitar o cátodo (NMC Níquel Manganês Cobalto, LFP- lítio ferro fosfato), com aplicação estacionária ou solar e com tensão nominal do banco de baterias de 24 V para os SIGFIs de 45

kWh/mês e 60 kWh/mês e de 48 V para os SIGFIs de 80 kWh/mês, 120 kWh/mês e 180 kWh/mês (ENERGISA TOCANTINS, NDU 028, 2022);

Obs.: Devido a uma padronização interna e plano de obras aprovado pela Eletrobras, a Energisa Tocantins, adotou a tensão de 48V também para o SIGFI 45 (ENERGISA TOCANTINS, Base de Dados, 2022).

- *Controlador de carga:* Devem ser utilizados controladores com algoritmo de carga do tipo MPPT (Maximum Power Point Tracking), com tensão nominal do sistema de 24 V para os SIGFI's de 45kWh/mês e 60kWh/mês e de 48 V para os SIGFI's de 80kWh/mês, 120kWh/mês e 180kWh/mês e compatível com baterias de íons de lítio (ENERGISA TOCANTINS, NDU 028, 2022).

Obs.: Devido plano de obras elaborado pela Energisa Tocantins aprovado pela Eletrobras, foi padronizado internamente a tensão de 48V também para o SIGFI 45 (ENERGISA TOCANTINS, Base de Dados, 2022).

O projeto básico e executivo para fornecimento e instalação do sistema deve conter Anotação de Responsabilidade Técnica (ART), memorial técnico descritivo, lista de materiais, diagrama funcional ou multifilar, arranjos de montagem, garantia dos módulos e inversores, catálogos e manuais técnicos, plano da operação logística e transporte, licença ambiental, cronograma das atividades e memória de cálculo (ENERGISA TOCANTINS, NDU 028, 2022).

2.4.2.2 *Microsistemas isolados de geração e distribuição de energia elétrica – MIGDI*

O atendimento por meio do MIGDI no estado do Tocantins é normatizado através da Norma de Distribuição Unificada – NDU 043. Esse tipo de sistema atende mais de uma unidade consumidora através de sistema isolado de geração de energia elétrica com fonte de energia renovável intermitente associada a uma microrrede de distribuição, na qual deve ser capaz de atender a alimentação das UCs, iluminação pública, serviços auxiliares necessários no sistema de geração, medidores eletrônicos para a medição, perdas na rede de distribuição e equipamentos, entre outros. Será utilizada fonte solar e deve-se atender o consumo com autonomia de 36 horas na ausência total da fonte primária e possuir uma potência máxima total instalada de até 100kW (ANEEL, RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 1.000, 07/12/2021).

Os critérios de decisão para o atendimento são realizados da seguinte maneira: O atendimento por meio do MIGDI torna-se inviável economicamente para comunidades com poucos domicílios, principalmente considerando os custos adicionais da minirrede e, em especial, da obra civil necessária para abrigar os equipamentos (banco de baterias e inversores). Assim, recomenda-se a adoção de MIGDI para comunidades com demanda energética acima de 900 kWh/mês. Para demandas inferiores, é necessário estudo comparativo entre os dois tipos de atendimento (SIGIF e MIGDI) que comprove a vantagem do MIGDI em relação ao SIGFI (ELETROBRAS, 2017).

Na ocorrência da comunidade a ser beneficiada necessitar de uma demanda superior a 900kWh/mês, deve-se observar os seguintes critérios estabelecidos no item 8.1 da NDU 043:

- Quantidade e espaçamento entre as UCs;
- A rede elétrica de fornecimento deverá ter no máximo 1,5 km de linha;
- Limite de queda de tensão na rede de distribuição, ver Módulo 8 do PRODIST;
- Aspectos econômicos, ambientais, sociais e operacionais;
- Viabilidade econômica para instalação de sistemas de comunicação, monitoramento e automação;
- Necessidade de corte e controle de demanda. Se houver, deverá ser avaliado seus custos;
- Existência de área disponível para instalação do arranjo FV da miniusina, além da própria rede elétrica;
- Licença ambiental para construção do MIGDI;
- Área disponível para posterior expansão da miniusina FV, se necessário;
- Implantação compulsória de Sistema de Coleta de Dados Operacionais – SCD, para medir, registrar, armazenar e disponibilizar dados de operação do MIGDI referente às grandezas elétricas e ao consumo de biocombustível, se houver.

(ENERGISA TOCANTINS, NDU 043, 2022).

O atendimento às comunidades deve ser realizado de acordo com a disponibilidade energética mínima especificada nos Módulos Básicos – MBs, onde os projetos devem usar os MBs conforme apresentados na tabela da Figura 26, dimensionados considerando 45 kWh/mês de disponibilidade mensal mínima por UC (ENERGISA TOCANTINS, NDU 043, 2022).

Figura 26 – Disponibilidade energética por MBs de referência

Referência	energética (kWh/mês)	Referência (kWh/dia)
MB1080	1.080	36,0
MB1305	1.305	43,5
MB1530	1.530	51,0
MB1800	1.800	60,0

Fonte: ENERGISA, NDU 043,2022

Localidades com demanda energética acima de 1800kWh/mês (MB1800) terão novas composições de modularização a partir dos MBs, padronizados e apresentados anteriormente, na qual são combinados formando blocos modulares de mesma configuração atendendo um determinado quantitativo de UCs. Para a caracterização de cada bloco modular além da combinação dos MBs, também é verificado a faixa de consumo a ser atendido, o consumo de referência diária e a quantidade de UCs que podem ser atendidas através do MIGDI. A tabela da Figura 27 a seguir apresenta a configuração modular básica de referência com seus respectivos valores (ENERGISA TOCANTINS, NDU 043, 2022).

Figura 27 – Configuração modular e seus valores de referência

Módulo Básico de Referência	Bloco Modular	Faixa de Consumo (kWh/mês)	Consumo diário de Referência (kWh/dia)	UCs Atendidas
MB1080	MB1080 (1x)	900 - 1.080	30 - 36,0	16 - 19
MB1305	MB1305 (1x)	1.081 - 1.305	36 - 43,5	20 - 24
MB1530	MB1530 (1x)	1.306 - 1.530	43,5 - 51,0	25 - 29
MB1800	MB1800 (1x)	1.531 - 1.800	51 - 60,0	30 - 35
MB2160	MB1080 (2x)	1.801 - 2.160	60 - 72	36 - 43
MB2610	MB1305 (2x)	2.161 - 2.610	72 - 87	44 - 52
MB3060	MB1530 (2x)	2.611 - 3.060	87 - 102	53 - 62
MB3240	MB1080 (3x)	3.061 - 3.240	102 - 108	63 - 66
MB3600	MB1800 (2x)	3.241 - 3.600	108 - 120	67 - 74
MB3915	MB1305 (3x)	3.601 - 3.915	120 - 130,5	75 - 80
MB4320	MB1080 (4x)	3.916 - 4.320	130,5 - 144	81 - 89
MB4590	MB1530 (3x)	4.321 - 4.590	144 - 153	90 - 95
MB5220	MB1305 (4x)	4.591 - 5.220	153 - 174	96 - 109
MB5400	MB1800 (3x)	5.221 - 5.400	174 - 180	110 - 112
MB6120	MB1530 (4x)	5.401 - 6.120	180 - 204	113 - 128
MB6525	MB1305 (5x)	6.121 - 6.525	204 - 217,5	129 - 137

Fonte: ENERGISA, NDU 043,2022. Adaptado Pelo Autor.

A configuração básica dessa modalidade é realizada da seguinte maneira: O MIGDI é composto por sistemas de geração de energia e armazenamento por meio do uso de baterias, que agregam componentes eletrônicos de potência para proporcionar uma operação adequada, permitindo a configuração CC em sistemas com potência de até 50kW e CA para potências acima que 50kW nos MIGD's, sendo divididos em quatro padrões que dependem da disponibilidade mensal garantida pelo sistema, conforme apresentado na tabela da Figura 28 (ENERGISA TOCANTINS, NDU 043, 2022).

Figura 28 – Configuração mínima do MIGDI CA

Potência mínima do gerador FV (W)	Valores da Tabela 9			
Capacidade útil mínima do banco de baterias (com perdas)	67,5 kWh 1.406 Ah	81,6 kWh 1.699 Ah	95,6 kWh 1.992 Ah	112,5 kWh 2.344 Ah
Potência nominal do inversor FV (W)	*	*	*	*
Potência nominal mínima do inversor formador de rede (W)	8.700 W ¹ (30 min)	10.500 W ¹ (30 min)	12.300 W ¹ (30 min)	14.400 W ¹ (30 min)

De acordo com a especificação e configuração dos módulos FV a partir dos valores dimensionados na Tabela 9, a capacidade de armazenamento de energia deve ser dimensionada de acordo com a disponibilidade de 8 W/(kWh/mês) e operação em condição de carga máxima por 30 minutos.

Fonte: ENERGISA TOCANTINS, NDU 043,2022

Para o dimensionamento da potência nominal dos sistemas fotovoltaicos foram utilizados valores mínimos da potência nominal de acordo com a irradiação local conforme apresentado nas tabelas das Figuras 29 e 30. A configuração dos demais MIGDI's pode ser realizada com base no conceito de modularidade, considerando o sistema instalado de acordo com a especificação apresentada nas tabelas de padronização ou por meio de paralelismo de dois ou mais MIGDI's (ENERGISA TOCANTINS, NDU 043, 2022).

Figura 29 – Configuração mínima do MIGDI CC

Potência mínima do gerador FV (W)	Valores da Tabela 9			
Tensão do Sistema CC	24 ou 48 Vcc			
Capacidade útil mínima do banco de baterias (com perdas)	67,5 kWh 1.406 Ah	81,6 kWh 1.699 Ah	95,6 kWh 1.992 Ah	112,5 kWh 2.344 Ah
Corrente máxima do controlador de cargas (I _c)	$I_c = 1,25 \times n^{\circ} \text{ de módulos em paralelo} \times I_{sc}^1$			
Potência nominal mínima do inversor FV formador de rede (W)	8.700 W ¹ (30 min)	10.500 W ¹ (30 min)	12.300 W ¹ (30 min)	14.400 W ¹ (30 min)

¹ I_{sc}: Corrente de curto circuito do módulo

² Baseado na disponibilidade de 8 W/(kWh/mês) e operação em condição de carga máxima por 30 minutos

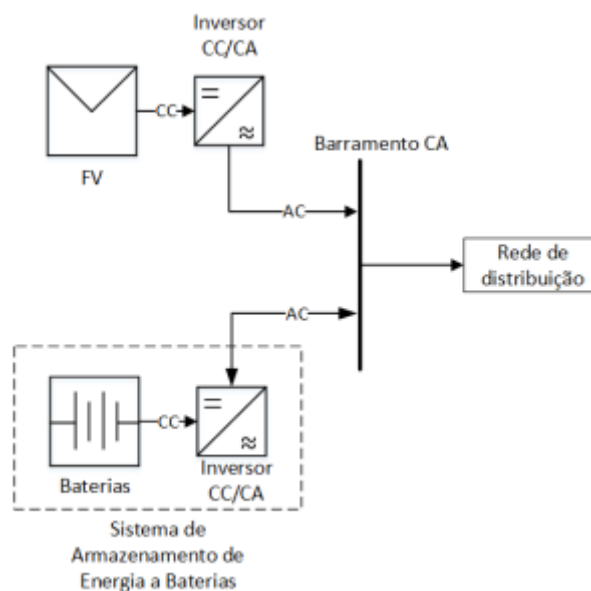
Fonte: ENERGISA TOCANTINS, NDU 043,2022

Figura 30 – Valores mínimos para o dimensionamento do sistema fotovoltaico de acordo com a irradiação local

Descrição	MIGDI1080	MIGDI1305	MIGDI1530	MIGDI1800
Potência nominal do SFV para Irradiação a partir de 3,5 kWh/m².dia	21.429 Wp	25.893 Wp	30.357 Wp	35.714 Wp
Potência nominal do SFV para Irradiação a partir de 4 kWh/m².dia	18.750 Wp	22.656 Wp	26.563 Wp	31.250 Wp
Potência nominal do SFV para Irradiação a partir de 4,5 Wh/m².dia	16.667 Wp	20.139 Wp	23.611 Wp	27.778 Wp
Potência nominal do SFV para Irradiação a partir de 5 kWh/m².dia	15.000 Wp	18.125 Wp	21.250 Wp	25.000 Wp

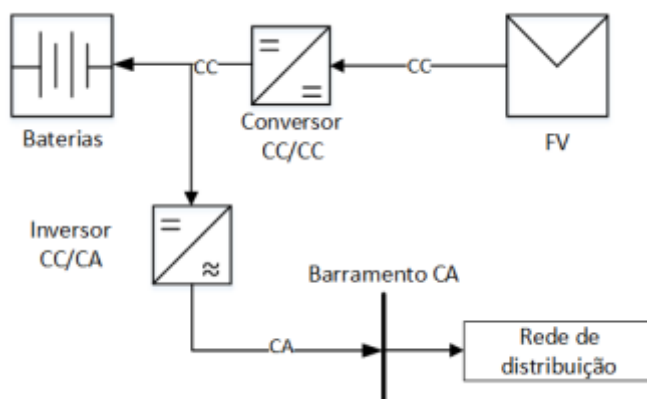
Fonte: ENERGISA TOCANTINS, NDU 043,2022

Em relação às configurações CA e CC, realizadas nos MIGD's podem-se destacar as seguintes considerações: a configuração CA devem possuir unidades de geração de energia e baterias devem ter seus inversores CC/CA conectados no mesmo barramento CA principal com saída para a microrrede de distribuição (Figuras 31 e 32) e na configuração CC as unidades de geração de energia e baterias estão ligados ao mesmo conversor CC/CC (como um controlador de cargas) e o inversor deve estar conectado ao banco de baterias e ter a função de formação de rede (inversores formadores de rede) (ENERGISA TOCANTINS, NDU 043, 2022).

Figura 31 – Configuração MIGDI CA

Fonte: ENERGISA TOCANTINS, NDU 043,2022

Figura 32 – Configuração MIGDI CC



Fonte: ENERGISA TOCANTINS, NDU 043,2022

Os materiais e equipamentos utilizados no sistema isolado de geração solar fotovoltaica no MIGDI são especificados conforme a seguir:

- *Módulos fotovoltaicos:* Podem ser utilizados módulos fotovoltaicos monocristalinos ou policristalinos com tecnologia Half Cell com potência de 300Wp e devem ser instalados em locais sem sombreamento, na angulação e direção que proporcionem a maior incidência solar durante o ano (ENERGISA TOCANTINS, NDU 043, 2022);
- *Inversores:* Os inversores utilizados serão com forma de onda senoidal pura, compatíveis com o controlador de carga, tensão CC do sistema e possuir a potência de surto suficiente para suprir a corrente de partida de cargas como refrigeradores e freezers (ENERGISA TOCANTINS, NDU 043, 2022);
- *Baterias:* Serão utilizadas baterias de chumbo ácido, chumbo carbono ou de íons de lítio, com aplicação estacionária ou solar (ENERGISA TOCANTINS, NDU 043, 2022);
- *Controlador de carga:* Devem ser utilizados controladores com algoritmo de carga do tipo MPPT (Maximum Power Point Tracking), com tensão nominal do sistema de 48V e compatível com baterias (ENERGISA TOCANTINS, NDU 043, 2022).

O projeto básico e executivo para fornecimento e instalação do sistema deve conter memorial técnico descritivo, lista de materiais, diagrama funcional ou multifilar, arranjos de montagem, garantia dos módulos e inversores, catálogos e manuais técnicos, plano da operação logística e transporte, licença ambiental, cronograma das atividades e memória de cálculo (ENERGISA TOCANTINS, NDU

043, 2022).

2.5 MANUTENÇÃO

Todo sistema operacional e equipamentos necessitam da realização de manutenção preditiva, preventiva e corretiva com o intuito de minimizar os impactos causados com uma eventual falha ou defeito e garantir um bom funcionamento. No sistema de distribuição de energia elétrica, a manutenção é necessária para minimizar o tempo e frequência que os consumidores ficam sem energia elétrica e no sistema de geração é necessária para minimizar perdas de geração e assegurar a durabilidade dos equipamentos (ENERGISA TOCANTINS, Base de Dados, 2022).

- *Manutenção preventiva:* A realização desse tipo de manutenção corresponde a uma inspeção completa em todos os componentes do sistema e execução de podas de árvores próximas a rede de energia elétrica ou substituição de equipamentos deteriorados e execução de limpeza periódica nos módulos fotovoltaicos (ENERGISA TOCANTINS, Base de Dados, 2022);
- *Manutenção corretiva:* Esse tipo de manutenção é realizado somente na existência de falhas ou defeitos em algum componente do sistema (ENERGISA TOCANTINS, Base de Dados, 2022);

2.6 FATURAMENTO RURAL

O Serviço Energia Elétrica é essencial no dia a dia da sociedade, seja nas residências ou nos diversos segmentos da economia. Para o uso desse bem, é necessária a aplicação de tarifas que remunerem o serviço de forma adequada, que viabilizem a estrutura para manter o serviço com qualidade e que criem incentivos para eficiência. Seguindo tais preceitos, a ANEEL desenvolve metodologias de cálculo tarifário para segmentos do setor elétrico (geração, transmissão, distribuição e comercialização), considerando fatores como a infraestrutura de geração, transmissão e distribuição, bem como fatores econômicos de incentivos à modicidade tarifária e sinalização ao mercado (Redação dada pelo MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2021).

Cabe à ANEEL garantir aos consumidores o pagamento de uma tarifa justa pela energia fornecida e, ao mesmo tempo, preservar o equilíbrio econômico-financeiro das concessionárias, para que possam prestar o serviço com a qualidade pactuada. Para tanto, no cálculo da tarifa, devem ser incluídos custos que a distribuidora tem. A tarifa considera três

custos distintos: Energia gerada + transporte de energia até as unidades consumidores (transmissão e distribuição) + encargos setoriais (Redação dada pelo MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2022).

Além da tarifa, os Governos Federal, Estadual e Municipal cobram os seguintes tributos na fatura de energia elétrica sendo eles:

- *Tributos Federais*: Programas de Integração Social – PIS, Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social – CONFINS (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2022);
- *Tributo Estadual*: Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços – ICMS (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2022);
- *Tributo Municipal*: Iluminação Pública – IP (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2022).

Os encargos setoriais e os tributos não são criados pela ANEEL e, sim, instituídos por leis. Alguns incidem somente sobre o custo da distribuição, enquanto outros estão embutidos nos custos de geração e de transmissão (Redação dada pelo MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2022).

Na conta de energia também pode incidir custos com as bandeiras tarifárias, onde são regulamentadas pela ANEEL e indicadas mensalmente, por meio das cores verde, amarelo e vermelho, na qual correspondem ao quando as reservas das hidrelétricas estão baixas e o consumo está alto a ponto de ser necessário ativar usinas com outras fontes de energia como as termoeletricas que possuem um custo de operação maior que as hidrelétricas, levando a um aumento de preço da energia elétrica e a diminuição de consumo.

As tarifas são calculadas para diferentes tipos de consumo definidas pela Resolução Normativa ANEEL nº 414, de 2010 e os consumidores são classificados pelo nível de tensão em que são atendidos sendo do Grupo A ou Grupo B. Os consumidores do grupo “A” são compostos por unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou, ainda, atendidas em tensão inferior a 2,3 kV a partir de sistema subterrâneo de distribuição e caracterizado pela estruturação tarifária binômia (caracterizada por tarifas de consumo de energia elétrica e demanda de potência, independentemente das horas de utilização do dia) (ANEEL, RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 1.000, 2021).

Consumidores do grupo “B” são compostos por unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV, ou, ainda, atendidas em tensão superior a 2,3 kV e caracterizado pela estruturação tarifária monômia e subdividido nos seguintes subgrupos

(ANEEL, RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 1.000, 2021):

- Subgrupo B1 – residencial (ANEEL, RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 1.000, 2021);
- Subgrupo B1 - residencial baixa renda (ANEEL, RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 1.000, 2021);
- Subgrupo B2 – rural (ANEEL, RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 1.000, 2021);
- Subgrupo B2 - cooperativa de eletrificação rural ((ANEEL, RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 1.000, 2021);
- Subgrupo B2 - serviço público de irrigação (ANEEL, RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 1.000, 2021);
- Subgrupo B3 - demais classes (ANEEL, RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 1.000, 2021);
- Subgrupo B4 - iluminação pública (ANEEL, RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 1.000, 2021).

As unidades de baixa tensão (grupo B) em zonas rurais possuem a seguinte caracterização quanto ao valor da tarifa:

- *Convencional monômia*: Tarifa única de consumo de energia elétrica, independentemente das horas de utilização do dia (ANEEL, RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 1.000, 2021);
- *Horária Branca*: São tarifas diferentes de acordo com as horas de utilização do dia e segmentadas em três postos tarifários (ponta, intermediário e fora de ponta) (ANEEL, RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 1.000, 2021);
- *Tarifa Social*: Benefício criado através do Governo Federal com o intuito de conceder descontos na tarifa de energia elétrica as famílias de baixa renda e isenção da tarifa para comunidades indígenas e quilombolas limitando o consumo a 50kWh/mês (ANEEL, 2022).

Portanto, a tarifação convencional rural é obtida pelo produto do consumo medido pela respectiva tarifa (R\$ 0,58784 – Energisa Tocantins) em vigor em conjunto com custos com geração, transmissão, encargos setoriais, tributos federais (PIS, CONFINS), tributos estaduais (ICMS) e adicionais de bandeiras tarifárias quando necessário.

Com execução do programa Mais Luz para Amazônia, o faturamento das unidades beneficiadas pode ser realizada por meio de carnê e através dos valores baseados nas medições de cada UC, o pagamento pode ser realizado em períodos mensais, bimestrais ou trimestrais, conforme opção do consumidor (REN 1000, Art. 532) e não se aplica o custo de

disponibilidade e unidades atendidas com SIGFI ou MIGDI não são consideradas para os indicadores de Duração Equivalente de Interrupção por Consumidor - DEC e Frequência Equivalente de Interrupção por Consumidor - FEC conforme previsto na resolução REN 1000/2021, Art. 548.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 INFORMAÇÕES SOBRE O MLpA

A implantação de sistemas para atendimento do programa MLpA iniciou-se em 2022 no estado do Tocantins, priorizando o atendimento de comunidades indígenas, quilombolas e pessoas de baixa renda, tendo como meta implantar até o final desse ano 586 SIGFI's, sendo que, 111 serão destinados ao SIGFI 45, 469 serão destinados ao SIGFI 80 e 6 serão destinados ao SIGFI 160. (ENERGISA TOCANTINS, Base de Dados, 2022)

Conforme estabelecido no Art. 2º do Decreto nº 10.221, de 5 de fevereiro de 2020 o prazo para a execução dos sistemas é determinado conforme a meta estabelecida para a universalização, no entanto, o tempo médio para construção de um sistema fotovoltaico pode atingir dois dias, dependendo do tamanho do sistema (SOLSTAR, 2021).

Para a execução do programa, foi necessário realizar o dimensionamento dos equipamentos no qual foram adotados pela concessionária de energia elétrica, premissas para atendimento e padronizações internas realizadas por meio de plano de obras aprovado pela Eletrobras. As premissas e dimensionamento dos equipamentos a serem utilizados estão dispostos na tabela a seguir: (ENERGISA TOCANTINS, Base de Dados, 2022)

Tabela 2 – Premissas adotadas pela Energisa Tocantins

PREMISSAS ADOTADAS PARA O DIMENSIONAMENTO		
SIGFI 45	SIGFI 80	SIGFI 160
• Consumo: 1500 Wh/dia; • DoD de 90%; • Autonomia: 1,5 dias (36h); • Perdas para o banco de baterias: 25%; • Tensão do banco de baterias: 48 V; • HSP: 5,26; • Fator de segurança: 25%	• Consumo: 2.650 Wh/dia; • DoD de 90%; • Autonomia: 1,5 dias (36h); • Perdas para o banco de baterias: 25%; • Tensão do banco de baterias: 48 V; • HSP: 5,26; • Fator de segurança: 25%.	• Consumo: 5.300 Wh/dia; • DoD de 90%; • Autonomia: 1,5 dias (36h); • Perdas para o banco de baterias: 25%; • Tensão do banco de baterias: 48 V; • HSP: 4,5; • Fator de segurança: 25%

Fonte: Elaboração Própria		
Tabela 3 – Dimensionamentos adotados pela Energisa Tocantins		
DIMENSIONAMENTO		
SIGFI 45	SIGFI 80	SIGFI 160
Potência dos módulos: 330Wp	Potência dos módulos: 330Wp	Potência dos módulos: 330Wp
Quantidade de módulos: 3*	Quantidade de módulos: 3*	Quantidade de módulos: 6
Potência do inversor: 1,5kW com controlador de carga acoplado	Potência do inversor: 2kW com controlador de carga acoplado	Potência do inversor: 3kW com controlador de carga acoplado
Quantidade de inversores: 1	Quantidade de inversores: 1	Quantidade de inversores: 1
Capacidade das baterias: 50Ah/48V	Capacidade das baterias: 100Ah/48V	Capacidade das baterias: 100Ah/48V
Quantidade de baterias: 1	Quantidade de baterias: 1	Quantidade de baterias: 2

* Devido plano de obras elaborado pela Energisa Tocantins aprovado pela Eletrobras e considerando incidência de irradiação solar no Tocantins foi padronizada internamente a quantidade de módulos.

Fonte: Elaboração Própria

O investimento realizado pela concessionária para a execução do programa MLpA poderá ter 90% do seu valor reembolsado pelo Governo Federal, desde que a mesma atenda os critérios estabelecidos no contrato (ENERGISA TOCANTINS, Base de Dados, 2022).

Para mensurar o custo médio utilizado na execução de cada tipo de SIGFI's 45, 80 e 160 conforme dimensionado pela concessionária, foi realizada uma pesquisa mercado com os engenheiros Murilo Leobas e Maria Isabella de Oliveira Novais, onde os dados obtidos estão dispostos na tabela a seguir:

Tabela 4 – Custo de implantação dos SIGFI 45, 80 e 160

TIPO DE SIGFI	CUSTO TOTAL (R\$)
45	29.800,00
80	37.700,00
160	68.700,00

Fonte: Elaboração própria com dados dos engenheiros Murilo Leobas e Maria Isabella de Oliveira Novais

Para assegurar o atendimento com qualidade, sem interrupções no fornecimento de energia elétrica e conservação do sistema, foram adotados pela concessionária local as seguintes ações em relação a manutenção:

- Manutenção preventiva: Limpeza dos módulos, revisão das conexões e avaliação de todos equipamentos instalados a cada 6 meses (ENERGISA TOCANTINS, Base de Dados, 2022);

- Manutenção corretiva: Substituições dos equipamentos na ocorrência de defeitos e falhas, com previsão de ocorrência após prazo de garantia dos equipamentos (ENERGISA TOCANTINS, Base de Dados, 2022);

Portanto, considerando as informações disponibilizadas pela concessionária, vida útil e garantia dos equipamentos, os custos previstos para a operação e manutenção dos sistemas de geração são:

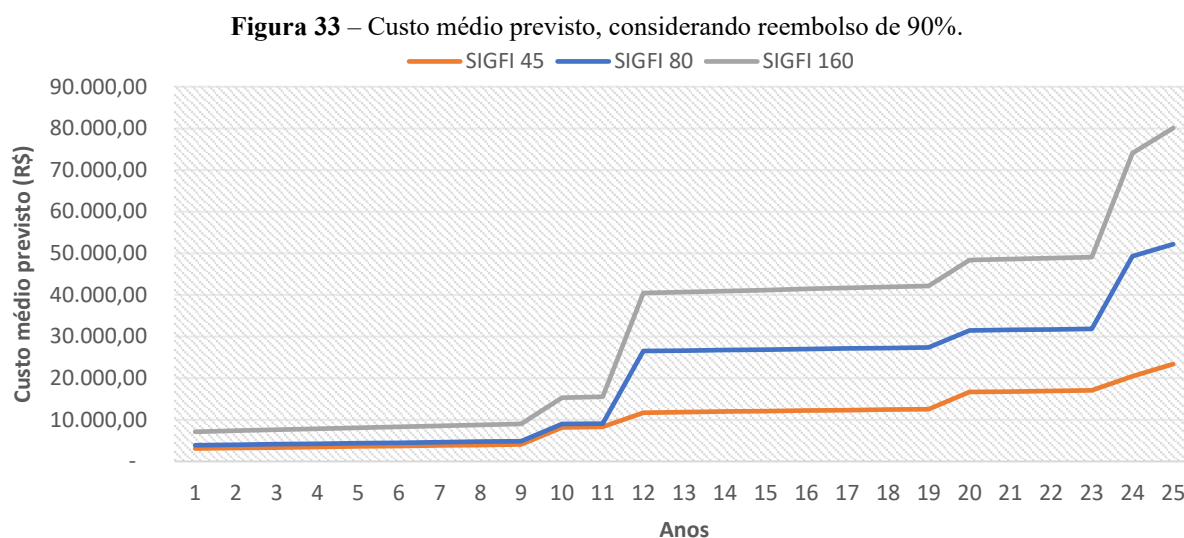
Tabela 5 – Custo de operação e manutenção dos SIGFI 45, 80 e 160

DESCRIÇÃO ATIVIDADE		PREVISÃO DE REALIZAÇÃO DA ATIVIDADE	CUSTO MÉDIO PREVISTO (R\$)
SIGFI 45	Limpeza e avaliação de funcionamento dos equipamentos	A cada 6 meses	60,00
	Substituição dos módulos 330Wp	Uma vez após cada 25 anos	2.800,00
	Substituição da Bateria 48V 50Ah	Uma vez após cada 12 anos	3.300,00
	Inversor com controlador de carga integrado 1,5kW	Uma vez após cada 10 anos	4.000,00
CUSTO MÉDIO TOTAL PREVISTO DO SIGFI 45 (R\$)			10.160,00
SIGFI 80	Limpeza e avaliação de funcionamento dos equipamentos	A cada 6 meses	60,00
	Substituição dos módulos 330Wp	Uma vez após cada 25 anos	2.800,00
	Bateria 48V 100Ah	Uma vez após cada 12 anos	17.300,00
	Inversor com controlador de carga integrado 2kW	Uma vez após cada 10 anos	4.000,00
CUSTO MÉDIO TOTAL PREVISTO DO SIGFI 80 (R\$)			24.160,00
SIGFI 160	Limpeza e avaliação de funcionamento dos equipamentos	A cada 6 meses	120,00
	Substituição dos módulos 330Wp	Uma vez após cada 25 anos	5.800,00
	2x Bateria 48V 100Ah	Uma vez após cada 12 anos	24.700,00
	Inversor com controlador de carga integrado 3kW	Uma vez após cada 10 anos	6.000,00
CUSTO MÉDIO TOTAL PREVISTO DO SIGFI 160 (R\$)			36.620,00

Fonte: Elaboração Própria

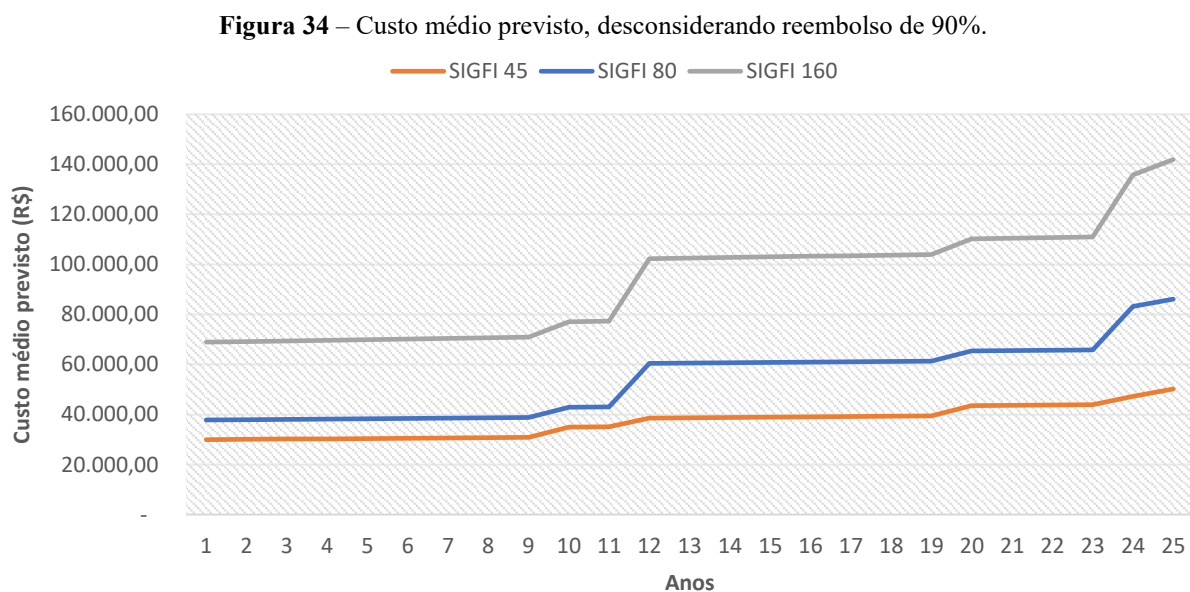
3.1.1 Avaliação de dados do programa MLpA

Considerando os dados expostos na tabela 4 e 5, e que o programa possibilita o reembolso de até 90% para a concessionária, os custos máximos previstos sem correção de inflação, acumulados durante 25 anos para os SIGFI 45, 80 e 160 estão expostos na Figura 33.



Fonte: Elaboração Própria

Caso o programa não reembolsasse até 90% do valor investido, a concessionária teria um custo médio previsto, considerando o valor de implantação e manutenção sem correção de inflação, conforme exposto na Figura 34.



Fonte: Elaboração Própria

3.2 INFORMAÇÕES SOBRE O PROGRAMA LpT E DE ELETRIFICAÇÃO RURAL

O programa LpT na zona rural iniciou-se no ano de 2004 no estado do Tocantins, atendendo cerca de 84 mil ligações durante 15 anos em todo o estado. Grande parte dessas ligações foram realizadas por meio de redes de distribuição rural na tensão monofásica de 19,9kV, devido a abrangência da tensão de 34,5kV nas zonas rurais, conforme já demonstrado na Figura 5, e com transformadores monofásicos de 5kVA e 10kVA devido ao público-alvo conter cargas pequenas (ENERGISA TOCANTINS, Base de Dados, 2022).

Atualmente o Tocantins é considerado como universalizado, porém, caso retome as instalações por meio de extensão de rede em áreas remotas, foi verificado pela concessionária que seria mais viável atender pequenas cargas com transformadores de 15kVA, considerando que ocorrência de substituição de transformadores devido aumento de carga seria reduzida e a compra de transformadores monofásicos sucederia em apenas dois tipos 15VA e 25kVA (ENERGISA TOCANTINS, Base de Dados, 2022).

Portanto, para considerar o valor na aplicação de recursos para a construção de rede de energia elétrica rural utilizando os transformadores de 15kVA na tensão de 19,9KV, que variam conforme os preços dos materiais e mão de obra, foi realizada uma pesquisa mercado com a empresa Dínamo Engenharia, referente ao custo médio por km para construção de rede elétrica de distribuição para o ano de 2022, no qual está disposta na Tabela 6.

Tabela 6 – Custo de implantação da rede de distribuição rural por km

POTÊNCIA DO TRANSFORMADOR (KVA)	TENSÃO DA REDE (KV)	CUSTO TOTAL POR KM (R\$)
15	19,9	75.000,00

Fonte: Elaboração própria com dados da empresa Dínamo Engenharia

Os prazos para execução das obras de extensão de rede de energia elétrica são determinados pela ANEEL, extensões com até um quilometro (1km) de rede elétrica o prazo é de 120 dias e para obras maiores o prazo para a conclusão é de 365 dias, (ANEEL, 1000 seção XIII).

O tempo médio para a execução das obras de até um quilometro (1km), variam de 3 a 4 dias, no máximo uma semana dependendo da complexidade do local e obra (DÍNAMO ENGENHARIA, Base de Dados, 2022)

O investimento para construção da rede de energia elétrica por meio do programa LpT possuía de 30% a 70% do seu valor, reembolsado pelo Governo Federal, no entanto, os serviços para a conservação e interrupção do fornecimento de energia ficaram sob responsabilidade da distribuidora (ENERGISA TOCANTINS, Base de Dados, 2022). Com isso, foram avaliados junto à concessionária de energia elétrica local, quais são os principais ofensores que causam danos a rede de energia elétrica rural com seus respectivos gastos, sendo elas:

- Manutenção preventiva: Limpeza da faixa de servidão no qual realiza a poda da vegetação, a cada 2 (dois) anos (ENERGISA TOCANTINS, Base de Dados, 2022);
- Manutenção corretiva: Substituição de para-raios e transformadores devido à incidência de descargas atmosféricas é realizada com um custo médio de R\$ 9.000,00, porém, a quantidade de ocorrências desse tipo de manutenção é mensurada por meio da frequência de trocas realizadas em todos os transformadores da rede, logo, não possui uma previsão de troca por ano em um transformador (ENERGISA TOCANTINS, Base de Dados, 2022).

Portanto, os custos médios total dos gastos mensuráveis, abrangidos para a operação e manutenção na rede de energia elétrica estão dispostos a seguir:

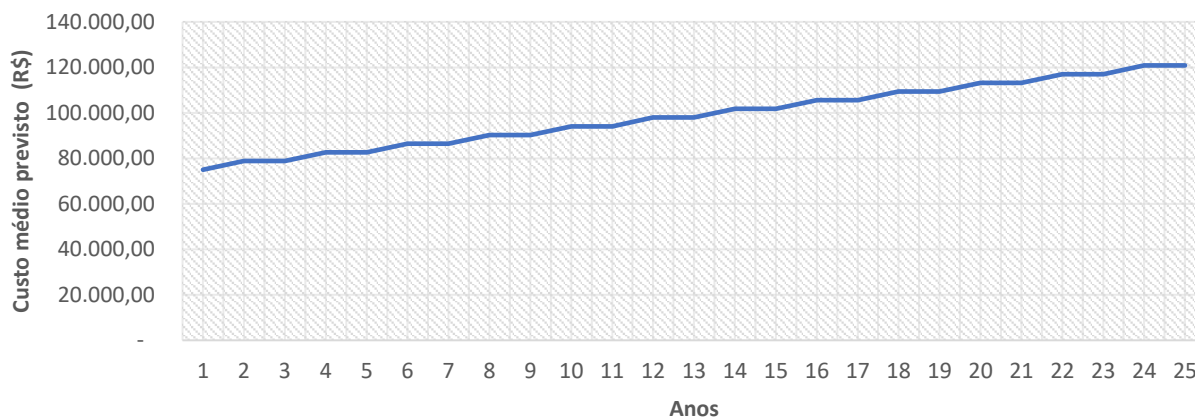
Tabela 7 – Custo de operação e manutenção por quilometro de eletrificação rural.

TIPO DE MANUTENÇÃO	ATIVIDADE	PREVISÃO DE REALIZAÇÃO DA ATIVIDADE	CUSTO MÉDIO POR KM (R\$)
Manutenção Preventiva	Limpeza da faixa de servidão	A cada 2 anos	3.800,00
CUSTO TOTAL:			3.800,00

Fonte: Elaboração Própria

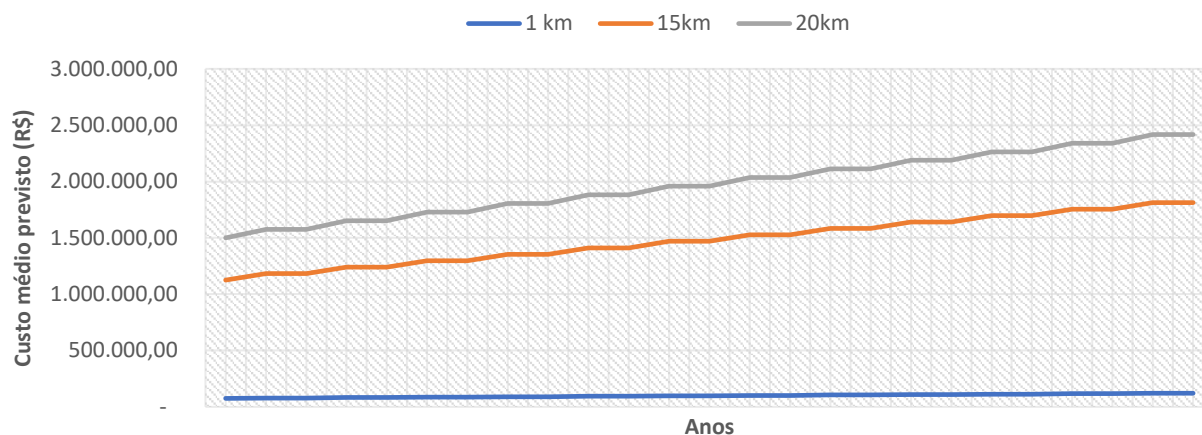
3.2.1 Avaliação de dados eletrificação rural

Considerando os dados expostos nas Tabelas 6 e 7, e que para a construção de rede de energia elétrica convencional rural não haverá reembolso, devido ao Tocantins já ser universalizado pelo LpT, os custos máximos previsto acumulados em 25 anos, sem correção de inflação, para 1km de rede, foram expostos na Figura 35.

Figura 35 – Custo médio previsto de 1km de rede

Fonte: Elaboração Própria

Na Figura 36 pode-se observar que quanto maior for a extensão da rede de energia elétrica, maior será seus custos de implantação e conservação.

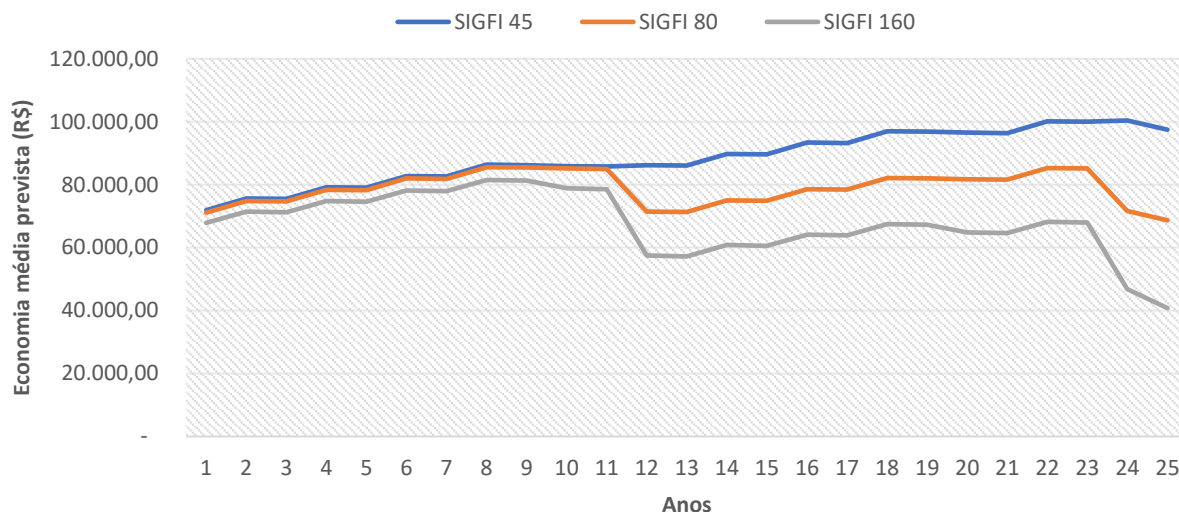
Figura 36 – Custo médio previsto de eletrificação rural com extensão de 1km, 15km e 20km

Fonte: Elaboração Própria

3.3 ANÁLISE COMPARATIVA

Avaliando e realizando análise econômica entre o MLpA com relação a 1km de rede de energia elétrica, é possível verificar que apesar de possuir uma manutenção preventiva com maior frequência o MLpA é mais viável para concessionária no atendimento as comunidades indígenas, quilombolas e de baixa renda localizadas em áreas remota, gerando uma economia entre 40mil e 100mil reais quando comparado a 1km de eletrificação rural conforme apresentado na Figura 37.

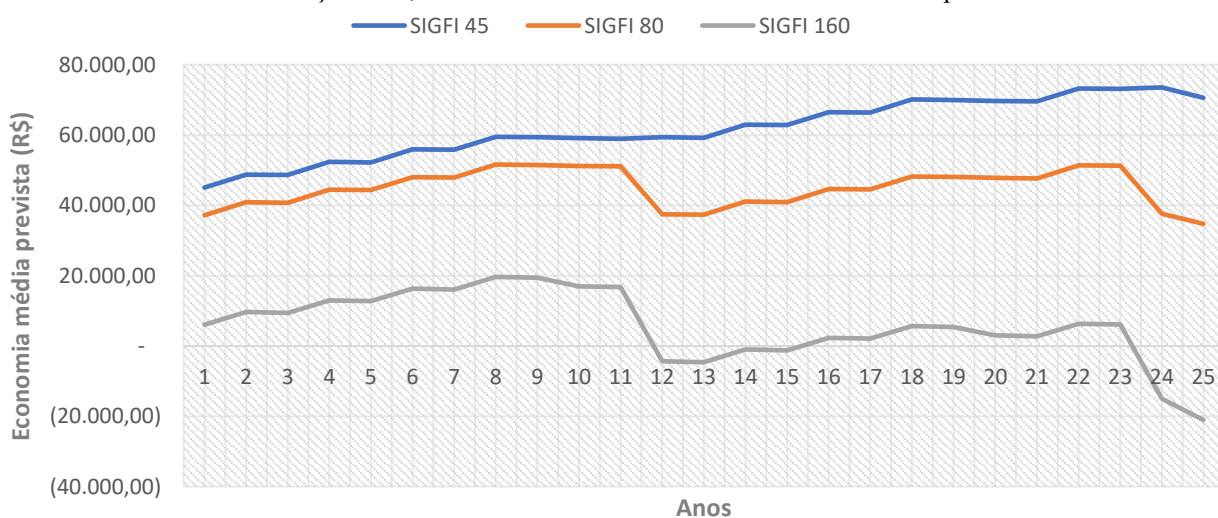
Figura 37 – Economia média prevista com a implantação do MLpA em comparação com 1km de rede de distribuição rural, considerando o reembolso de até 90% no MLpA.



Fonte: Elaboração Própria

No entanto, caso o programa não realizasse o reembolso do investimento, a comunidade a ser atendida por meio do SIGFI 160 teria uma pequena desvantagem, quando localizada em áreas que estão entre 1km e 1,5km da rede da distribuição de energia elétrica existente conforme exposto nas Figuras 38 e 39.

Figura 38 – Economia média prevista com a implantação do MLpA em comparação com 1km de rede de distribuição rural, desconsiderando o reembolso de até 90% no MLpA.



Fonte: Elaboração Própria

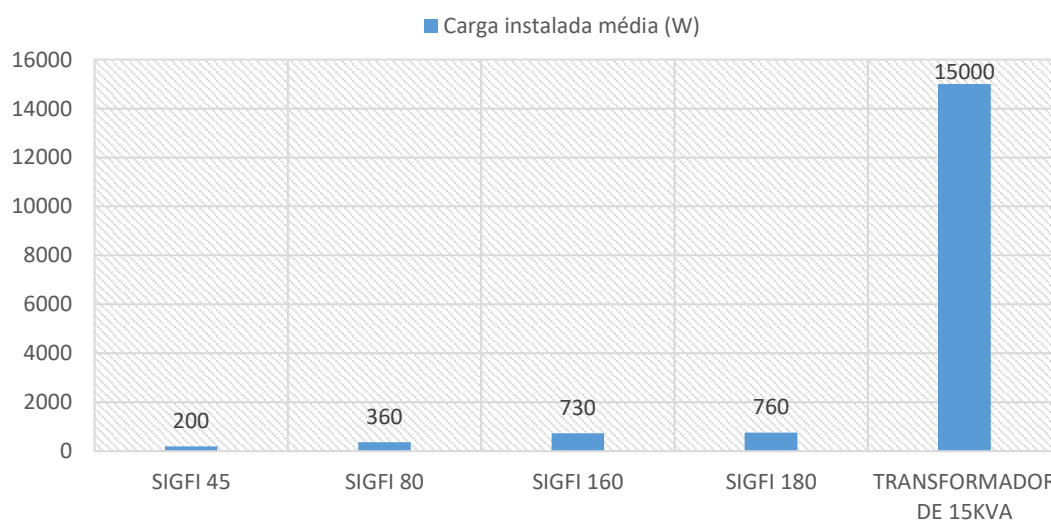
Figura 39 – Economia média prevista com a implantação do SIGFI 160 em comparação com 1km, 1,5km e 2km de rede de distribuição rural, desconsiderando o reembolso de até 90% no MLpA



Fonte: Elaboração Própria

O atendimento a comunidade quando comparado a carga instalada média permitida entre os sistemas utilizados no MPLpA conforme exposto nos exemplos de carga das Figuras 18 ao 22 e um transformador de 15kVA, estão evidenciados na Figura 40, onde, destaca-se o atendimento convencional como mais viável para atendimentos cujo potência seja acima do suportado pelo SIGFI 180 ou que possuam equipamentos no qual os SIGFI's não suportam, como é o caso de motores monofásicos.

Figura 40 – Potência média de carga instalada suportada



Fonte: Elaboração Própria

Sobre o prazo de atendimento e execução, pode-se observar que, apesar de após a solicitação o beneficiário pode ter a implantação do MLpA realizada até o prazo final do programa e conforme cronograma de obras da concessionária, a execução do sistema isolado é mais ágil que a execução de uma eletrificação rural.

Tabela 8 – Prazo de execução e atendimento do MLpA e eletrificação rural

DESCRIÇÃO	PRAZO DE EXECUÇÃO	PRAZO DE ATENDIMENTO
Sistema isolado de geração solar fotovoltaica	Até 02 dias	Após a solicitação, a concessionária executa conforme cronograma
Manutenção Preventiva	De 02 á 07 dias	Extensões $\leq$ 1km: Até 120 dias Extensões $>$ 1km: Até 365 dias

Fonte: Elaboração Própria

Os impactos ambientais para a implantação do MLpA, são mínimos e necessários apenas quando existe vegetação próxima ao local de instalação do sistema, já a eletrificação rural além de ocorrer o desmatamento para a execução da obra, também é necessário a abertura da faixa de servidão em toda a extensão da rede elétrica e a poda ou desmate dessa faixa a cada 2 anos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio de análise técnica e comparativa, foi possível observar a execução de sistemas isolados através do MLpA é mais ágil e econômica para a concessionária de energia elétrica, enquanto a construção de eletrificação rural é mais viável apenas a comunidade que utiliza o SIGFI 160 a uma distância de até 1,5km da rede de distribuição existente e se caso o Governo Federal não realizasse o reembolso de até 90% para a implantação do programa.

Vale ressaltar que conforme a ampliação de atendimento por meio de eletrificação rural se aproxima dos locais atendidos pelo MLpA, existe a possibilidade de adequação para atendimento convencional, aumentando a disponibilidade de energia para até 25kVA de potência instalada em atendimento monofásico. Caso a comunidade já atendida pelo MLpA necessite realizar a ampliação da potência e a rede convencional não esteja próxima, é possível realizar o aumento de carga podendo ou não haver custo para o solicitante, desde que não ultrapasse a disponibilidade para o SIGFI 180.

Com relação à carga instalada média permitida para cada tipo de atendimento, foi possível observar que atendimento convencional se torna mais viável para atendimentos cuja potência seja acima do permitido pelo MLpA ou que possuam equipamentos que solicitam grandes demandas no qual seja necessário dispositivos que suportem pico de partida.

Portanto, a elucidação e progressão dos objetivos da pesquisa, foram alcançadas de forma satisfatória, sendo relevante para o meio acadêmico e contribuindo no entendimento sobre esse novo método de atendimento a comunidade localizada em áreas remotas.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRADEE. **Redes de Energia Elétrica**. ABRADEE - Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica, 2021. Disponível em: <<https://www.abradee.org.br/setor-eletrico/redes-de-energia-eletrica/>> Acesso em 15-05-2022

ABSOLAR. **Panorama da solar fotovoltaica no Brasil e no mundo**. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>. Acesso em 02-11-2022

ACERVO LIMA. **Fontes não convencionais de energia**. Disponível em: <<https://acervolima.com/fontes-nao-convencionais-de-energia/>>. Acesso em: 02-11-2022

BRASIL. **Resolução Normativa ANEEL N°1000 de 20 de dezembro de 2021**. Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica: Revoga as Resoluções Normativas N°410 de 13 de dezembro de 2011; N°901 de 8 de dezembro de 2020 e dá outras providências. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-1.000-de-7-de-dezembro-de-2021-*-375499427>. Acesso em 15-05-2022

BRASIL. Ministério de Minas e Energia -MME. **Programa Luz Para Todos**. 25 de dez de 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/canais_atendimento/ouvidoria/perguntas-frequentes/programa-luz-para-todos>. Acesso em: 15-05-2022

BRASIL. Ministério de Minas e Energia -MME. **Sobre o Programa (MLpA)**. 03 de fev de 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/energia-eletrica/copy2_of_programa-de-eletrificacao-rural/sobre-o-programa>. Acesso em: 21-11-2022

BRASIL. Ministério de Minas e Energia -MME. **Sobre o Programa (LpT)**. 03 de fev de 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/destaques/programa-de-eletrificacao-rural/sobre-o-programa>>. Acesso em: 21-11-2022

BRASIL. Ministério de Minas e Energia - MME. **Manual para Atendimento às Regiões Remotas dos Sistemas Isolados**. Anexo á Portaria n 321 de 14 de ago de 2017. Disponível em: <https://www.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/Manual_dos_Sistemas_Isolados_Revis%C3%A3o_1.pdf>. Acesso em: 15-05-2022

BRASIL. Ministério de Minas e Energia - MME. **Legislação da Amazônia**. 13 de out de 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/energiaeletrica/copy2_of_programa-de-eletrificacao-rural>. Acesso em: 01-05-2022

BRASIL. **Decreto N°10.221, de 05 de fevereiro de 2020**. Institui o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica na Amazônia Legal – Mais Luz para Amazônia. Brasil: Presidência da República, [2020]. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Decreto/D10221.htm>. Acesso em: 01-05-2022

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Sistemas Isolados e com Fontes Intermitentes**. 16 de fev de 2017. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/distribuicao/sistemas-isolados-e-com-fontes-intermitentes>>. Acesso em: 22-05-2022

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Entendendo a Tarifa**. Disponível em:<<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/entenda-a-tarifa>>. Acesso em: 29-05-2022

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Tarifa Social**. Disponível em:<<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/tarifa-social>>. Acesso em: 02-11-2022

BRETO, Alessandra. **Características de Inversores para sistema de energia solar Off-Grid**. Disponível em: <<https://www.solarbrasil.com.br/blog/caracteristicas-de-inversores-para-sistemas-de-energia-solar-off-grid/>>. Acesso em: 27-05-2022

CRESESB. **Potencial Solar**. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito, 2014. Disponível em:< <http://www.cresesb.cepel.br/>>. Acesso em: 21-11-2022

ELETROBRAS. **Especificações Técnicas dos Programas para Atendimento às Regiões Remotas dos Sistemas Isolados no âmbito do Programa Luz para Todos**. Julho de 2017. Disponível em:<https://www.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/especificacoes_tecnicas.pdf>. Acesso em: 01-05-2022

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Matriz energética e elétrica**. Disponível em:<<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 02-11-2022

ENERGÊS. **Do Início ao Fim Sistema Solar Fotovoltaico Off-Grid**. 05 de ago de 2020. Disponível em: <<https://energes.com.br/do-inicio-ao-fim-sistema-solar-fotovoltaico-off-grid/>>. Acesso em: 22-05-2022

ENERGISA. **NDU 005 Instalações Básicas para Construção de Redes de Distribuição Rural**. Energisa 2018. Disponível em:<<https://www.energisa.com.br/Normas%20Tcnicas/NDU%20005%20-%20Instala%C3%A7%C3%B5es%20B%C3%A1sicas%20para%20Constru%C3%A7%C3%A3o%20de%20Redes%20de%20Distribui%C3%A7%C3%A3o%20Rurais.pdf>> Acesso em: 21-11-2022

ENERGISA. **NDU 028 Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente – SIGFI**. Energisa 2022. Disponível em:<<https://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas/normas-tecnicas.aspx>> Acesso em: 29-05-2022

ENERGISA. **NDU 043 Microssistemas Isolados de Geração e Distribuição de Energia Elétrica - MIGDI**. Energisa 2022. Disponível em:<<https://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas/normas-tecnicas.aspx>> Acesso em: 29-05-2022

ENERGY SHOP. **Tipos de Conexão com Baterias Estacionárias**. 18 de jul de 2019. Disponível em: <<https://blog.energyshop.com.br/categorias/guia-da-energia-solar/tipos-de-conexao-com-baterias-estacionarias/>>. Acesso em: 19-12-2022

INTELBRAS. **Como funciona o dimensionamento de sistema fotovoltaico off grid**. 24 de fev de 2022. Disponível em: <https://blog.intelbras.com.br/dimensionamento-de-sistema-fotovoltaico-off-grid/?gclid=Cj0KCQjwm6KUBhC3ARIsACIwxBjBjvaA2bAswmFBaXEn9CcjfaK_lyqvrRbdcuGkxki4dMMZU-QPvdUaAgrIEALw_wcB>. Acesso em: 27-05-2022

LEÃO, Ruth. **Apostila de GTD – Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica**. 2009. Ceará: UFC, 2009.

MAMEDE FILHO, J. **Manual De Equipamentos Elétricos**. 4. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

MASCARELLO, Marina Calcagnotto. **Análise da viabilidade técnica e financeira de instalação Fotovoltaica em indústria**. 2017. Monografia – Faculdade de Engenharia de Energia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2017. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/169300/001046323.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 21-11-2022

PINHO, João; GALDINO, Marco. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Março, 2014. Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/downloads/livro-manual-de-engenharia-sistemas-fotovoltaicos-2014.pdf>>. Acesso em: 30-05-2022

PLOTTER SOLUÇÕES EM INSTALAÇÕES TÉCNICAS. **Como funciona o painel solar fotovoltaico – placas fotovoltaicas**. Disponível em: <<http://www.plotter.eng.br/como-funciona-o-painel-solar-fotovoltaico-placas-fotovoltaicas>>. Acesso em: 25-05-2022

PLUGMAIS DISTRIBUIDORA EM ENERGIA SOLAR. **Afinal, qual bateria para energia solar devo escolher?**. Disponível em: <<https://blog.plugmais.com.br/afinal-qual-bateria-para-energia-solar-devo-escolher/>>. Acesso em: 02-11-2022

PORTAL SOLAR. **Célula Fotovoltaica: Tudo o que você precisa saber**. 05 de ago de 2020. Portal Solar, 2014-2022. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica.html>>. Acesso em: 22-05-2022

PORTAL SOLAR. **Tudo Sobre a Manutenção do Pannel Solar e do Sistema Fotovoltaico**. Portal Solar, 2014-2022. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/tudo-sobre-a-manutencao-do-pannel-solar>>. Acesso em: 20-05-2022

PORTAL SOLAR. **Como funciona a energia solar**. Portal Solar, 2014-2022. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/como-funciona-energia-solar.html>>. Acesso em: 21-11-2022

SILVA, Cyntia. **Bateria de Níquel - Cádmio**. Embarcados, 2020. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/bateria-de-niquel-cadmio/>>. Acesso em: 20-05-2022

SILVA, Cyntia. **Bateria de Lítio Íon**. Embarcados, 2020. Disponível em:

<<https://www.embarcados.com.br/baterias-de-litio-ion/>>. Acesso em: 20-05-2022

SILVA, Cyntia. **Baterias de Chumbo Àcido**. Embarcados, 2020. Disponível em: <<https://embarcados.com.br/baterias-de-chumbo-acido/>>. Acesso em: 21-11-2022

SOLARVOLT, Caio Morato. **Kit de Energia Solar: Qual a Vida Útil dos Equipamentos?**. Solarvolt Energia, 2020. Disponível em: <<https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/kit-de-energia-solar-vida-util/>>. Acesso em: 02-11-2022

SOLSTAR. **Quantos dias são necessários para instalar o sistema fotovoltaico em minha casa?**. Solstar Tecnologia e Energia Fotovoltaica, 2021. Disponível em: <<https://solstar.com.br/central-de-conhecimento/quantos-dias-sao-necessarios-para-instalar-o-sistema-fotovoltaico-em-minha-casa/#:~:text=Normalmente%20demora%20entre%201%20e,feito%20em%20at%C3%A9%202%20dias.>>. Acesso em: 02-11-2022

APÊNDICE A– Autorização de pesquisa acadêmico- científica Energisa Tocantins



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia.
Campus Palmas – TO
Coordenação da Área de Indústria
Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica

AUTORIZAÇÃO PARA PESQUISA ACADÊMICO-CIENTÍFICA

Através do presente instrumento, solicitamos do Gestor **Bruno Gonçalves de Queiroz**, gerente do **Departamento de Construção, Manutenção e Distribuição (DCMD)** da empresa Energisa Tocantins, autorização para realização da pesquisa integrante do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) da acadêmica **Lorena da Costa Coutinho**, orientada pelo Prof. **Fábio de Lima Albuquerque**, tendo como título preliminar **Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica com a Efetivação do Programa Mais Luz Para Amazônia.**

O trabalho contempla a análise sobre a implementação de sistemas de geração isolados com a utilização da energia solar fotovoltaica como fonte de geração, no estado do Tocantins, para atendimento ao Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica na Amazônia Legal - Mais Luz para a Amazônia (MLpA), instituído através do Decreto nº 10.221, de 5 de fevereiro de 2020, em comparação com a construção de rede de distribuição de energia elétrica rural.

Portanto, solicitamos a autorização para obter, mencionar e integrar os dados relacionados a seguir, ao TCC:

- Dados sobre as implantações do programa Mais Luz para Amazônia e ações para a conservação dos sistemas de geração;
- Informações sobre as implantações realizadas no programa Luz para Todos, especificações técnicas sobre as redes construídas como tensão e potência dos transformadores;
- Principais ofensores para a conservação de redes de distribuição de energia elétrica rural junto com os seus respectivos gastos;
- Mapa eletrográfico do estado do Tocantins;

Na oportunidade, demandamos da permissão para divulgar o nome da empresa com o intuito de trazer autenticidade dos dados fornecidos ao trabalho.

Palmas, 04 de novembro de 2022

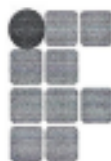
Lorena da Costa Coutinho
Acadêmico

Fábio de Lima Albuquerque
Prof. Dr. Fábio Lima de Albuquerque (Orientador)
IFTO – Campus Palmas

- () Deferido
() Indeferido

Bruno Gonçalves de Queiroz
Assinatura e carimbo do gestor
Bruno Gonçalves de Queiroz
Gerente de Departamento de
Const. e Manut. de Distrib-DCMD
Energisa TO Dist. de Energia S.A

APÊNDICE B – Autorização de pesquisa acadêmico- científica Dínamo Engenharia



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
Campus Palmas – TO
Coordenação da Área de Indústria
Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica

AUTORIZAÇÃO PARA PESQUISA ACADÊMICO-CIENTÍFICA

Através do presente instrumento, solicitamos do Gestor Victor Emanuel C. de Oliveira, gerente do Departamento de Projetos e Engenharia da empresa Dínamo Engenharia, autorização para realização da pesquisa integrante do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) da acadêmica Lorena da Costa Coutinho, orientada pelo Prof. Fábio de Lima Albuquerque, tendo como título preliminar Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica com a Efetivação do Programa Mais Luz Para Amazônia.

O trabalho contempla a análise sobre a implementação de sistemas de geração isolados com a utilização da energia solar fotovoltaica como fonte de geração, no estado do Tocantins, para atendimento ao Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica na Amazônia Legal - Mais Luz para a Amazônia (MLpA), instituído através do Decreto nº 10.221, de 5 de fevereiro de 2020, em comparação com a construção de rede de distribuição de energia elétrica rural.

Portanto, solicitamos a autorização para obter orçamento sobre o custo médio para a implantação de 1km de rede de distribuição elétrica rural atendendo especificadamente a potência de um transformador de 15kVA na tensão de 19,9KV, bem como mencionar e integrar os referidos dados ao TCC. Na oportunidade, demandamos da permissão para divulgar o nome da empresa com o intuito de trazer autenticidade dos dados fornecidos ao trabalho.

Palmas, 03 de novembro de 2022

Lorena da Costa Coutinho

Acadêmico

Prof. Dr. Fábio Lima de Albuquerque (Orientador)

IFTO – Campus Palmas

() Deferido

() Indeferido

Victor Emanuel C. de Oliveira
Eng. Eletricista
CREA 220073-0/TO
DÍNAMO ENGENHARIA LTDA

Assinatura e carimbo do gestor