



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

LOHAINE RODRIGUES WEBER

MARIA TEREZA PIRES

**ESTUDO DE VIABILIDADE PARA GERAÇÃO ISOLADA DE ENERGIA
ELÉTRICA EM COMUNIDADES REMOTAS DA AMAZÔNIA LEGAL:
MLA ACRE LOTE UM**

Palhoça

2023

LOHAINE RODRIGUES WEBER
MARIA TEREZA PIRES

**ESTUDO DE VIABILIDADE PARA GERAÇÃO ISOLADA DE ENERGIA
ELÉTRICA EM COMUNIDADES REMOTAS DA AMAZÔNIA LEGAL:
MLA ACRE LOTE UM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Elétrica da
Universidade do Sul de Santa Catarina como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Profa. Francielli Scarpini Barbosa Cordeiro, Ms. Eng.

Palhoça
2023

LOHAINE RODRIGUES WEBER
MARIA TEREZA PIRES

**ESTUDO DE VIABILIDADE PARA GERAÇÃO ISOLADA DE ENERGIA
ELÉTRICA EM COMUNIDADES REMOTAS DA AMAZÔNIA LEGAL:
MLA ACRE LOTE UM**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 27 de novembro de 2023.

Professora e orientadora: Francielli Scarpini Barbosa Cordeiro, Ms. Eng.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Prof. Fabiano Max da Costa, Eng.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Jeniffer Rios Martins, Eng.

Dedico este trabalho aos meus pais, Jair Rodrigues Weber e Teresinha Aparecida Góis, por todo incentivo dado na minha trajetória e por sempre confiarem no meu potencial.

(Lohaine Rodrigues Weber)

Dedico este trabalho ao meu pai, Antonio Luiz Pires, por todo o apoio e incentivo na jornada da graduação e por não medir esforços para o alcance da minha formação profissional.

(Maria Tereza Pires)

AGRADECIMENTOS

Lohaine Rodrigues Weber: Primeiramente, agradeço à minha mãe por sempre incentivar os meus estudos e me encorajar a conquistar os meus sonhos.

Agradeço ao meu noivo, Gabriel Antonio Machniski, por todo suporte, motivação, carinho e cuidado despendido em mim durante a realização deste trabalho.

À minha colega, Maria Tereza Pires, agradeço pela dedicação e parceria em todos esses anos de faculdade, minha trajetória se tornou mais tranquila ao seu lado.

À nossa orientadora, Francielli Scarpini Barbosa Cordeiro, sou grata por toda mentoria e ensinamentos dados ao longo do curso e especialmente durante a realização deste trabalho.

Maria Tereza Pires: Primeiramente, agradeço aos meus pais por todo o incentivo na realização dos meus objetivos e por confiarem em todas as minhas escolhas.

Agradeço ao meu irmão, Antonio Luiz Pires Filho, pelo papel importante em minha vida e por ser o meu grande exemplo.

Ao meu namorado, João Vitor Ferreira da Silva, por todo o companheirismo e apoio em minha caminhada e também por ser o maior incentivador dos meus sonhos.

À minha colega, Lohaine Rodrigues Weber, agradeço pela sua simplicidade, leveza e parceria durante toda a nossa trajetória, amizade que levarei para além da graduação.

À nossa orientadora, Francielli Scarpini Barbosa Cordeiro, sou imensamente grata por todos os conhecimentos transmitidos e pela sua imponente presença na construção deste trabalho.

“O sucesso não tem a ver com o lugar de onde você veio, e sim com a confiança que você tem e o esforço que você está disposto a investir” (Michelle Obama).

RESUMO

O acesso à energia elétrica em regiões isoladas é uma dificuldade encontrada em diversos países, incluindo o território brasileiro. De forma a viabilizar a microgeração de energia elétrica em comunidades remotas, este trabalho tem por objetivo apresentar o cenário atual de eletrificação no Brasil; os tipos de sistemas e fontes de energia renováveis para a geração isolada de energia, com foco principal na energia fotovoltaica; e o arcabouço regulatório, incluindo os incentivos fiscais e políticas públicas existentes no Brasil para esses projetos de microgeração. A partir dos projetos executados na Amazônia Legal, através do programa Mais Luz para a Amazônia, foram abordadas as análises ambientais, sociais, econômicas e técnicas das regiões durante o desenvolvimento do trabalho. A implantação analisada neste trabalho foi a execução realizada no estado do Acre, o MLA Acre Lote Um, que teve o projeto de implantação executado pela concessionária de distribuição Energisa em parceria com a empresa Intelbras. Para as instalações foram levantados os dados de consumo das comunidades isoladas beneficiadas neste primeiro tranche do projeto e a quantidade de instalações SIGFI necessárias, sistema de geração isolada de energia escolhido para implementação, e a potência instalada em cada comunidade, além da realização de um protótipo de simulação de uma instalação SIGFI. Apesar das dificuldades geográficas e logísticas encontradas para as instalações dos sistemas fotovoltaicos, o programa promoveu um desenvolvimento socioeconômico e sustentável nessas regiões, além de uma melhoria na qualidade de vida para os moradores, promovendo uma significativa satisfação para os beneficiados neste primeiro tranche do programa Mais Luz para a Amazônia no estado do Acre. Portanto, este trabalho destaca a importância do apoio e desenvolvimento de políticas públicas e programas governamentais que promovem a eletrificação de comunidades isoladas da Amazônia Legal.

Palavras-chave: Amazônia Legal. Sistema Isolado. Geração Distribuída. Microgeração. Energia Elétrica. Fotovoltaico. SIGFI.

ABSTRACT

Access to electrical energy in isolated regions is a challenge encountered in various countries, including the Brazilian territory. In order to facilitate microgeneration of electrical energy in remote communities, this work aims to present the current electrification scenario in Brazil; the types of systems and renewable energy sources for isolated energy generation, with a primary focus on photovoltaic energy; and the regulatory framework, including tax incentives and existing public policies in Brazil for these microgeneration projects. Environmental, social, economic, and technical analyses of the regions were addressed during the development of the work, based on projects carried out in the Legal Amazon through the Mais Luz para a Amazônia program. The implementation analyzed in this work was the execution carried out in the state of Acre, known as MLA Acre Lot One, with the implementation project executed by the distribution concessionaire Energisa in partnership with the company Intelbras. The data collected for the installations included the consumption data of the isolated communities benefited in this first phase of the project, the number of necessary SIGFI installations (a chosen isolated energy generation system), and the installed capacity in each community. Additionally, a simulation prototype of a SIGFI installation was created. Despite the geographical and logistical challenges encountered during the installation of photovoltaic systems, the program has promoted socio-economic and sustainable development in these regions. It has also improved the quality of life for residents, resulting in significant satisfaction among those benefited in this first phase of the Mais Luz para a Amazônia program in the state of Acre. Therefore, this work emphasizes the importance of support and the development of public policies and government programs that promote the electrification of isolated communities in the Legal Amazon.

Keywords: Legal Amazon. Isolated System. Distributed Generation. Microgeneration. Electric Energy. Photovoltaic. SIGFI.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Comunidade ribeirinha às margens do Rio Negro.	15
Figura 2 – Comunidade ribeirinha do Rio Juruá, Amazonas.	16
Figura 3 – Sistema solar <i>off-grid</i> instalado em comunidade isolada da Amazônia Legal.....	17
Figura 4 – Regiões sem acesso a energia elétrica nos estados da Amazônia Legal.	20
Figura 5 – Regiões atendidas pelo Sistema Interligado Nacional (SIN), Sistemas Isolados (SISOL) e regiões sem acesso à energia elétrica.	21
Figura 6 – Infográfico das modalidades da geração distribuída.....	28
Figura 7 – Principais benefícios da geração distribuída.	29
Figura 8 – Sistema fotovoltaico isolado da rede elétrica.....	34
Figura 9 – Sistemas Isolados do Brasil.....	35
Figura 10 – Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (Simulações de 2013).	41
Figura 11 – Componentes de um sistema solar fotovoltaico.....	46
Figura 12 - Sistemas de geração <i>off-grid</i> e <i>on-grid</i>	47
Figura 13 – Total diário da irradiação global horizontal no Brasil (média anual).	48
Figura 14 – Potencial de geração solar fotovoltaica no Brasil (rendimento energético anual).49	
Figura 15 – Mapa das Linhas de Transmissão do Sistema Interligado Nacional, Sistemas Isolados e Usinas Hidrelétricas da Amazônia Legal.	56
Figura 16 – Área de atuação do programa Mais Luz para Amazônia - Acre lote 1.	57
Figura 17 – Instalação de lâmpada em uma das moradias beneficiadas.	59
Figura 18 – Painel fotovoltaico instalado em uma das comunidades do Estado do Acre.	67
Figura 19 – Sistema fotovoltaico instalado em uma igreja na comunidade.	68
Figura 20 – Dificuldade de locomoção da equipe técnica.	70
Figura 21 – Equipe técnica transportando equipamento até o local de instalação.	71

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Matriz Elétrica Brasileira 2021	23
Gráfico 2 - Evolução da participação da geração Eólica e Solar na matriz elétrica brasileira .	24
Gráfico 3 - Evolução da microgeração distribuída de energia no Brasil por ano até 2023.	31
Gráfico 4 – Total de domicílios atendidos pelo programa Luz para Todos (milhões) - somatória a cada ano.	51
Gráfico 5 – Capacidade Instalada (MW) por ano nos estados da Amazônia Legal por meio de sistemas de micro e minigeração distribuída.	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo do preço médio do Megawatt/hora por fonte (valores referentes a março/2023).....	22
Tabela 2 – Comparação entre Minigeração e Microgeração de Energia.....	26
Tabela 3 – Dados utilizados no cálculo do impacto tarifário para cada distribuidora em 2030.	32
Tabela 4 – Comparativo entre os sistemas SIGFIs e MIGDIs.	37
Tabela 5 – Informações solicitadas para Atendimento dos Sistemas Intermitentes e Isolados.	38
Tabela 6 – Disponibilidade a ser garantida por sistemas do tipo MIGDI e SIGFI.....	58
Tabela 7 – Quantidade de instalações por tipo de SIGFI.	58
Tabela 8 – Potência instalada por município.....	60
Tabela 9 – Especificações Técnicas Módulo Fotovoltaico EMS 330P.	61
Tabela 10 – Especificações Técnicas Bateria de Lítio 24V 100Ah UPLFP24-100.	62
Tabela 11 – Especificações Técnicas Inversor ISV 1501.....	63
Tabela 12 – Especificações Técnicas Controlador de Carga ECM 6048.	64
Tabela 13 – Dados obtidos no dimensionamento do SIGFI (Módulo Fotovoltaico).	65
Tabela 14 – Dados obtidos no dimensionamento do SIGFI (Inversor, Controlador de Carga e Banco de Baterias).....	66

LISTA DE SIGLAS

ACL: Ambiente de Contratação Livre

ABGD: Associação Brasileira de Geração Distribuída

ABSOLAR: Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica.

BEN: Balanço Energético Nacional.

CCC: Conta de Consumo dos Combustíveis.

CCEE: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica.

Cepel: Centro de Pesquisas de Energia Elétrica.

COFINS: Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social.

CONFAZ: Conselho Nacional de Política Fazendária

EPE: Empresa de Pesquisa Energética.

FV: Fotovoltaica.

ICMS: Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

IDH: Índice de Desenvolvimento Humano.

LPI: Livre Proposta de Interesse.

MLA: Programa Mais Luz para a Amazônia

MIGDI: Mini rede de geração e distribuição.

MME: Ministério de Minas e Energia.

MW: Megawatt.

ONS: Operador Nacional do Sistema.

PADIS: Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores.

PASEP: Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público.

Pasi: Portal de Acompanhamento de Sistemas Isolados.

PIS: Programa de Integração Social.

PLpT: Programa Luz para Todos.

ProGD: Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica.

REIDI: Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura.

SCD: Sistemas de Coleta de Dados Operacionais.

SIGFI: Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente.

SIGFV: Sistema individual de geração FV.

SIN: Sistema Interligado Nacional.

SISOL: Sistemas Isolados.

TUSD: Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição.

UC's: Unidades Consumidoras.

ZFM: Zona Franca de Manaus.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	JUSTIFICATIVA.....	18
1.2	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	18
1.3	OBJETIVOS	18
1.3.1	Objetivo Geral.....	18
1.3.2	Objetivos Específicos	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	PANORAMA ATUAL DO ATENDIMENTO ENERGÉTICO DAS REGIÕES ISOLADAS DA AMAZÔNIA LEGAL	20
2.2	MATRIZ ELÉTRICA DO BRASIL	23
2.3	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.....	25
2.3.1	Arcabouço regulatório da geração distribuída	25
2.3.2	Lei nº 14.300/202	26
2.3.3	Modalidades da geração distribuída	27
2.3.4	Benefícios da geração distribuída.....	29
2.3.5	Mini e Microgeração Distribuída de Energia Elétrica no Brasil.....	30
2.3.6	Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica..	31
2.3.7	Incentivos Fiscais e Tributários no País.....	33
2.4	SISTEMAS ISOLADOS.....	33
2.4.1	Sistemas Isolados no Brasil	34
2.4.2	Arcabouço regulatório de Sistemas Isolados	35
2.4.3	Sistemas Isolados e Fontes Intermitentes.....	36
2.4.4	Fontes de Energia Renováveis Viáveis para a Geração de Energia em Áreas Remotas da Amazônia Legal.....	38
2.4.4.1	Energia Hidráulica	38
2.4.4.2	Energia Eólica	39
2.4.4.3	Biocombustíveis.....	42
2.4.4.4	Energia Solar.....	43
2.4.4.4.1	<i>Sistemas fotovoltaicos.....</i>	<i>44</i>
2.5	POLÍTICAS PÚBLICAS RELACIONADAS À MICROGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM COMUNIDADES REMOTAS	50
2.5.1	Programa Luz para Todos	50

2.5.2	Programa Mais Luz para a Amazônia.....	51
3	METODOLOGIA	54
4	DESENVOLVIMENTO	55
4.1	AMAZÔNIA LEGAL.....	55
4.2	MLA – ACRE LOTE UM	56
4.3	PROTÓTIPO DE UMA INSTALAÇÃO SIGFI	60
4.3.1	Dados para o Dimensionamento do SIGFI.....	60
4.3.2	Dimensionamento do SIGFI.....	62
4.3.2.1	Quantidade de módulos fotovoltaicos.....	62
4.3.2.2	Dimensionamento do inversor	63
4.3.2.3	Dimensionamento do controlador de carga	64
4.3.2.4	Dimensionamento do banco de baterias.....	64
4.4	RESULTADOS OBTIDOS	66
4.5	DESAFIOS SUPERADOS NA EXECUÇÃO DO PROJETO.....	69
5	CONCLUSÃO	73
	REFERÊNCIAS	75
	ANEXO A – Planilha Dimensionamento Protótipo	82

1 INTRODUÇÃO

A falta de acesso à energia elétrica é um problema comum em muitas regiões do mundo, especialmente em áreas remotas e isoladas. No Brasil, há muitas comunidades rurais e ribeirinhas, que não têm acesso à rede de energia elétrica, o que dificulta o desenvolvimento socioeconômico dessas regiões.

Para a comunidade Amazônica, o acesso à energia elétrica é ainda mais precário devido a sua grande dimensão territorial com florestas fechadas, áreas com densa rede hidrográfica e também uma baixa densidade demográfica, conforme as comunidades apresentadas na Figura 1 e na Figura 2. Em razão desses fatores, o fornecimento de energia para esses locais é essencial para garantir uma melhor qualidade de vida, impactando positivamente no acesso à saúde, educação básica, ferramentas de comunicação e demais meios que possam gerar uma renda para a própria comunidade (Instituto de Energia e Meio Ambiente - IEMA, 2021).

Figura 1 – Comunidade ribeirinha às margens do Rio Negro.



Fonte: Expedição Katerre.

Figura 2 – Comunidade ribeirinha do Rio Juruá, Amazonas.



Fonte: Bruno Kelly, 2021.

No âmbito de um desenvolvimento econômico, social e sustentável da região, foram elaborados alguns projetos ao longo dos anos para o fornecimento de eletricidade em áreas mais remotas da região norte do Brasil. O Programa Luz para Todos e o programa Mais Luz para a Amazônia (MLA) são os principais projetos, coordenados pelo Ministério de Minas e Energia (MME).

Iniciado em 2003, o Programa Luz para Todos foi criado com o objetivo de anular a exclusão elétrica no Brasil e sua meta era propiciar, até o ano de 2010, o atendimento em energia elétrica à parcela da população do meio rural brasileiro, que ainda não tinha acesso a esse serviço público.

Na região Amazônica, o programa encontrou dificuldades em sua aplicação, como a elevada demanda em investimentos, e o grande número de domicílios a serem atendidos. Conforme divulgado no site oficial do Ministério de Minas e Energia, essas dificuldades resultaram na prorrogação do programa até final de 2022, no entanto, mesmo com as prorrogações não foi possível levar energia elétrica para todas as comunidades do Norte, Nordeste e às populações que vivem em regiões isoladas do país.

O Programa Mais Luz para a Amazônia (MLA) foi criado em 2020 com o objetivo de promover o acesso à energia elétrica para a população brasileira localizada nas regiões remotas dos estados da Amazônia Legal, visando o desenvolvimento social e econômico destas comunidades (Ministério de Minas e Energia, 2021). O programa atua no aumento do índice de acesso à energia elétrica desses locais isolados através da geração renovável e limpa, como é o caso dos sistemas de microgeradores e minigeradores solares fotovoltaicos já implantados em algumas comunidades na modalidade de sistemas de geração isolada de energia, como o sistema apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Sistema solar *off-grid* instalado em comunidade isolada da Amazônia Legal.



Fonte: Energisa, 2022.

A microgeração distribuída de energia elétrica e os sistemas de geração isolada de energia podem ser uma solução viável para o problema de desenergização das áreas isoladas da Amazônia, uma vez que permite que as comunidades gerem sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis. Promovendo ainda a substituição de geradores de energia à diesel ou à gasolina, que hoje são a única fonte de energia para algumas famílias que vivem nessas regiões remotas, favorecendo assim a sustentabilidade do planeta e a saúde dos moradores dessas comunidades.

1.1 JUSTIFICATIVA

Com o avanço do desenvolvimento do país, teve-se uma crescente demanda de energia elétrica nas mais diversas regiões do Brasil. Entretanto, o país ainda possui regiões e comunidades com milhares de habitantes sem acesso a esse serviço básico, sendo esse considerado um direito de todos.

A falta de energia elétrica nessas comunidades vem causando o atraso no desenvolvimento econômico e social da região, além de afetar a qualidade de vida dos moradores e impactar negativamente o meio ambiente devido a utilização de recursos naturais esgotáveis para uma geração limitada de energia.

Diante desse cenário, surgiu a necessidade de estudos que viabilizem a expansão do sistema elétrico em áreas remotas, visando a promoção da cidadania e da dignidade da população residente nesses locais.

1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A problemática abordada neste trabalho diz respeito à falta de acesso à energia elétrica pelas comunidades remotas da Amazônia Legal, sendo esse o principal obstáculo para o desenvolvimento econômico, social e sustentável da região.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Este trabalho técnico-científico tem o intuito de estudar o acesso à energia elétrica pelas comunidades remotas e isoladas localizadas nos estados da Amazônia Legal, explorando a viabilidade de implantação de sistemas isolados de geração de energia a partir de sistemas fotovoltaicos.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, é necessária a contemplação dos seguintes objetivos específicos:

- Estudar casos de projetos de sistemas isolados de geração de energia elétrica implantados em áreas remotas da Amazônia Legal;

- Expor as ações e medidas dos programas coordenados pelo Ministério de Minas e Energia (MME), Programa Luz para Todos e Programa Mais Luz para a Amazônia Legal;
- Apresentar o projeto MPLA - ACRE LOTE 1;
- Analisar a eficácia e discorrer sobre os benefícios da realização desse projeto.

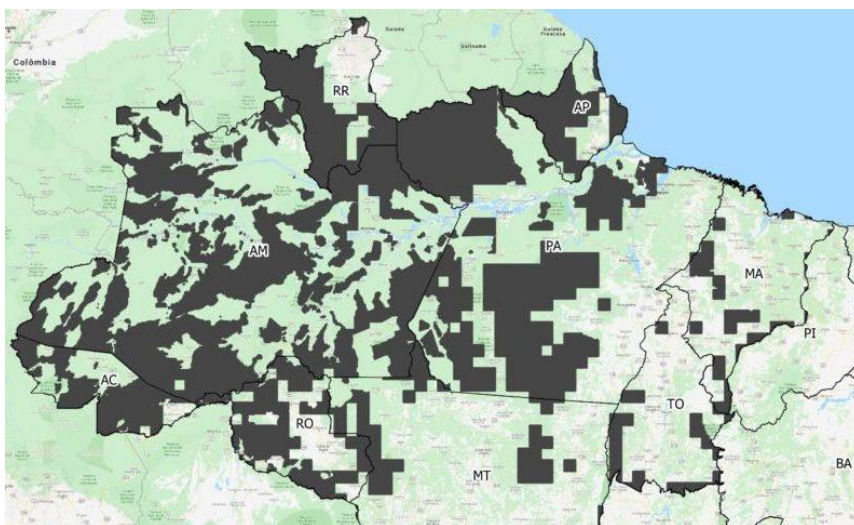
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, serão abordados trabalhos, livros e artigos para apresentar dados da matriz elétrica do Brasil, o cenário econômico, social e sustentável atual da Amazônia Legal, as definições de geração distribuída e sistemas isolados de geração de energia elétrica, a explicação da geração de energia a partir de sistemas fotovoltaicos e os demais conceitos inerentes ao SIN - Sistema Interligado Nacional para que seja possível analisar a aplicação de sistemas isolados de geração de energia elétrica nas regiões remotas da Amazônia Legal.

2.1 PANORAMA ATUAL DO ATENDIMENTO ENERGÉTICO DAS REGIÕES ISOLADAS DA AMAZÔNIA LEGAL

A baixa concentração populacional e a esparsidade das populações na Amazônia Legal, encarecem e dificultam o acesso à energia elétrica. Muitas destas comunidades remotas, encontram-se isoladas do ponto de vista do abastecimento elétrico, com baixa demanda por energia para fins de produção e uso residencial, fazendo com que o atendimento pelas concessionárias de energia elétrica seja pouco atrativo ou inviável, devido ao elevado custo das linhas de transmissão de energia elétrica (IEMA, 2019). Na Figura 4 pode-se verificar onde ficam localizadas as comunidades da Amazônia Legal sem acesso à energia elétrica.

Figura 4 – Regiões sem acesso à energia elétrica nos estados da Amazônia Legal.



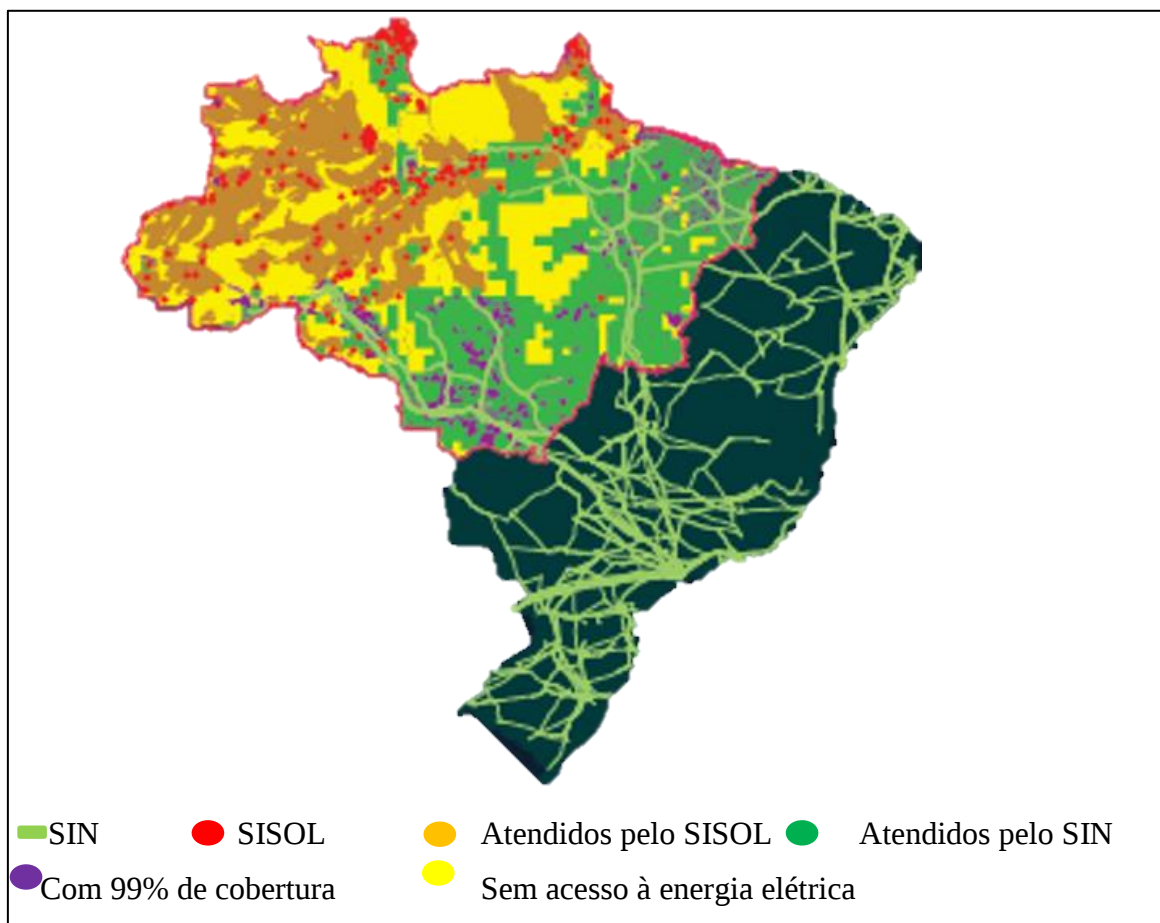
Fonte: Instituto de Energia e Meio Ambiente - IEMA, 2019.

Como resultado, a maioria das aldeias e habitações isoladas não são regularmente eletrificadas, dificultando a elas o acesso ao conforto do mundo moderno e tecnológico e

consequentemente a possibilidade de uma melhoria na qualidade de vida. Segundo Di Lascio e Barreto (2009), em locais onde não há fornecimento de energia elétrica é registrado o menor Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), o que facilita identificar que a deficiência no acesso à energia é o principal entrave ao desenvolvimento e bem-estar social dessas regiões.

Algumas residências na região amazônica já foram eletrificadas pela extensão de rede, ou a partir do SIN - Sistema Interligado Nacional, porém o atendimento pelo SIN fica restrito principalmente às capitais e regiões metropolitanas. De acordo com o Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA) em 2020, nos demais municípios, a energia elétrica é fornecida por meio de Sistemas Isolados (SISOL). Os SISOL são definidos como sistemas de serviço público de distribuição de energia elétrica desconectados do SIN (Decreto nº 7.246/2010). Na Figura 5 é apresentado o atendimento elétrico na região Amazônica.

Figura 5 – Regiões atendidas pelo Sistema Interligado Nacional (SIN), Sistemas Isolados (SISOL) e regiões sem acesso à energia elétrica.



Fonte: Instituto de Energia e Meio Ambiente - IEMA, 2020.

Em pequenas aldeias distantes da rede de distribuição de eletricidade, a energia está disponível apenas quando a própria comunidade administra os geradores comunitários e micro redes, sendo a capacidade requerida entre 10 e 100 kVA. Normalmente o óleo diesel que abastece esses geradores é comprado de marteleiros que navegam na bacia amazônica, comprando e vendendo seus produtos a preços altíssimos.

Com referência ao estudo publicado por Di Lascio e Barreto (2009), alguns desses pequenos geradores são bem conservados e mantêm a eficiência normal de 350 g/kWh, no entanto a maioria recebe uma manutenção precária que provoca um consumo elevado de combustível, próximo de 500 g/kWh. Portanto, se for considerado um litro de óleo diesel a R\$ 4,02 (preço na região em março de 2023), o custo da geração se situa entre R\$ 1.407,00 e R\$ 2.010,00 por Megawatt/hora, sem contar as despesas com a manutenção dos equipamentos.

Na Tabela 1 verifica-se o preço médio do Megawatt/hora por fonte de energia elétrica, com ênfase no preço do óleo diesel e a diferença de preço da geração média do país em comparação com a geração de energia elétrica nos geradores a diesel utilizados pelas comunidades isoladas da Amazônia Legal.

Tabela 1 – Comparativo do preço médio do Megawatt/hora por fonte (valores referentes a março/2023)

Fonte	Preço Médio por Fonte (R\$/MWh)
Hidroelétrica UHE	R\$ 208,10
Hidroelétrica CGH	R\$ 279,30
Hidroelétrica PCH	R\$ 281,60
Eólica	R\$ 214,10
Solar Fotovoltaica	R\$ 297,00
Biomassa	R\$ 301,40
Óleo Diesel	R\$ 326,30
Gás Natural	R\$ 313,10
Carvão	R\$ 317,80
Gás de Processo	R\$ 344,50
Resíduo Sólido Urbano	R\$ 609,20

Fonte: Elaborado pelas autoras a partir dos dados da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE (2023).

Além do elevado custo do óleo diesel e da dificuldade logística para o abastecimento desse combustível, há ainda outros problemas na sua utilização como o risco do seu transporte

por meio de recipientes inadequados e o transporte de carga inflamável junto à população nas embarcações.

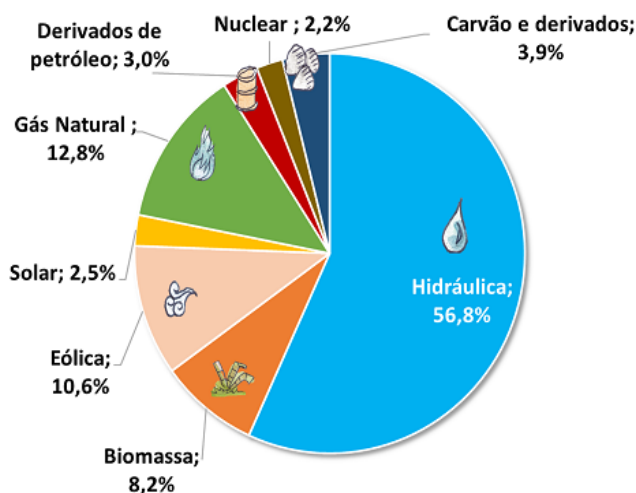
Grande parte da população amazônica que reside nas comunidades isoladas são reféns das lamparinas a querosene ou a óleo diesel. O uso dessas lamparinas como forma de iluminação noturna é muito precário e a emissão de gases em virtude da queima dos combustíveis provoca graves consequências sobre a saúde humana, como doenças crônicas do pulmão, irritação do nariz e dos olhos, estresse do coração, anorexia crônica, danos ao cérebro, asfixia, dores de cabeça e náuseas, conforme descrito por Eduardo José Fagundes Barreto em 2009.

2.2 MATRIZ ELÉTRICA DO BRASIL

A matriz elétrica de um país é o conjunto de fontes ou recursos energéticos que são utilizados apenas para a produção de energia elétrica e de acordo com a EPE - Empresa de Pesquisa Energética, a matriz elétrica brasileira é uma das mais sustentáveis na produção de eletricidade, com uma matriz elétrica composta principalmente por fontes renováveis.

A principal fonte de energia da matriz elétrica do Brasil ainda é a hidráulica com 56,8% de participação, contudo, a energia eólica vem crescendo bastante, totalizando no ano de 2021 uma contribuição de 10,6%, sendo que no ano anterior a contribuição foi de 8,8%. A eletricidade produzida pela fonte solar apresentada no Gráfico 1, abaixo, já inclui a GD - Geração Distribuída, modalidade de geração que vem crescendo significativamente no Brasil.

Gráfico 1 - Matriz Elétrica Brasileira 2021



Fonte: EPE - Empresa de Pesquisa Energética (BEN, 2022; total: 656 TWh - terawatt-hora), (2022).

Segundo a Aneel, dados preliminares referentes ao ano de 2022, indicam que a geração renovável representou mais de 85% da oferta de energia elétrica no Brasil no ano de 2022, devido à combinação de hidrelétricas, geração a biomassa, solar e eólica. Isso mostra a importância da geração renovável na matriz elétrica brasileira.

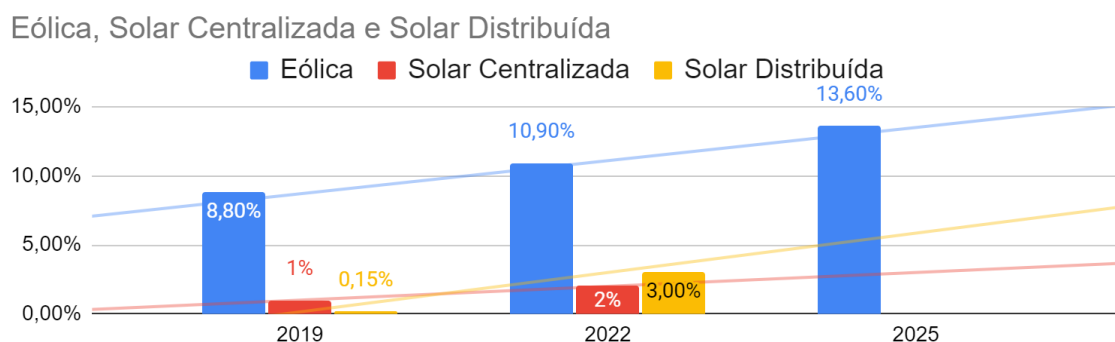
Em matéria divulgada pelo MME - Ministério de Minas e Energia em março de 2023, são divulgados dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) que mostram que a capacidade instalada da geração distribuída (GD) solar no Brasil cresceu quase um Gigawatt (GW) nos dois primeiros meses do ano de 2023, atingindo 18 GW. Os dados também mostram o impulsionamento da fonte solar fotovoltaica como a segunda maior em potência instalada no país, atrás apenas da geração hidrelétrica.

Os dados divulgados na matéria demonstram, ainda, que a capacidade instalada de geração solar fotovoltaica ultrapassou a da eólica quando se soma a capacidade instalada da Geração Distribuída com a Geração Centralizada, atingindo 26 GW, perante aos 25 GW da geração eólica.

O crescimento da Geração Distribuída na matriz elétrica do Brasil é resultado de políticas públicas de incentivo às fontes de energia renováveis e da Micro e Minigeração Distribuída, como a Lei nº 13.203/2015 e a Lei nº 14.300/2022.

De acordo com dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e conforme é possível verificar no Gráfico 2, no final de 2022, a energia eólica já representa 10,9% da matriz elétrica brasileira e a expectativa é que chegue a 13,6% até o final de 2025. A energia solar já representa 5% da matriz, tendo crescido 63% no último ano. A energia solar centralizada representa 2% e a energia solar distribuída representa 3%. Conforme dados do Ministério de Minas e Energia, nos últimos três anos o crescimento da energia solar centralizada foi de 200%, enquanto que a solar distribuída passou de 2.000%.

Gráfico 2 - Evolução da participação da geração Eólica e Solar na matriz elétrica brasileira



Fonte: Elaborado pelas autoras a partir dos dados da EPE - Empresa de Pesquisa Energética, 2023.

2.3 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A geração distribuída é o termo dado à energia elétrica gerada no local ou próxima das áreas de consumo. Segundo Lineu (2017), essa proximidade ao consumidor, característica desse tipo de geração, apresenta um impacto apenas no sistema de distribuição local e dessa forma diminui os totais de investimento para a sua implantação devido a isenção dos custos em transmissão e distribuição.

Essa forma de geração de energia corresponde a um modelo de geração descentralizada que se opõe ao de geração centralizada, onde são implementadas grandes usinas distantes dos centros consumidores, necessitando de um transporte com linhas de transmissão a longas distâncias.

2.3.1 Arcabouço regulatório da geração distribuída

O termo de geração distribuída é válido para diversas fontes de energia renováveis como a energia solar, eólica ou hídrica. De acordo com a ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, desde 17 de abril de 2022 quando entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, é permitido o uso de qualquer fonte renovável, além da cogeração qualificada, e também sendo possível conceder o excedente para a sua rede de distribuição.

Além desses atos concedidos pela Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, foram classificadas as potências instaladas como microgeração distribuída a central geradora com potência instalada até 75 kW (setenta e cinco quilowatts) e minigeração distribuída aquela com potência acima de 75 kW (setenta e cinco quilowatts) e menor ou igual a 5 MW (cinco megawatts), conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

Nos anos seguintes, houveram algumas alterações da resolução normativa. Uma dessas revisões ocorreu no ano de 2019, onde a ANEEL propôs uma alteração no sistema de compensação de energia, porém essa era considerada extremamente desfavorável para o setor do sistema de energia solar brasileiro.

Em novembro de 2019 foi apresentado pelo então Deputado Silas Câmara do partido Republicanos no estado de Amazonas, o Projeto de Lei 5829/2019 com a proposta do marco legal da micro e minigeração distribuída. Após mais de dois anos de apuração dessa lei e diversas alterações realizadas, foi aprovado pelo presidente da República em mandato atual, o

Projeto de Lei 5829/2019, convertendo então o marco legal da Geração Distribuída na Lei nº 14300, de 6 de janeiro de 2022.

2.3.2 Lei nº 14.300/2022

Entre as providências realizadas na Lei nº 14.300/2022, estão o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE), o Programa de Energia Renovável Social (PERS) e critérios regulamentados para a geração distribuída fotovoltaica no Brasil, além de alterações nas Leis nº 10.848, de 15 de março de 2004, e nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996.

Para a microgeração, a partir de 6 de janeiro de 2023, está válido uma potência instalada, em corrente alternada, menor ou igual a 75 kW (setenta e cinco quilowatts) em uma central geradora, que utilize fontes renováveis de energia com conexão na rede de distribuição ou cogeração qualificada.

No caso da minigeração distribuída, por sua vez, está definido uma potência instalada, em corrente alternada, superior a 75 kW (setenta e cinco quilowatts) e menor ou igual a 3 MW (três megawatts) para fontes que não armazenam energia e menor ou igual a 5 MW (cinco megawatts) para as fontes que armazenam, como são as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), por exemplo.

Na Tabela 2 abaixo é apresentado a comparação entre a potência instalada na microgeração e minigeração distribuída e as condições para a sua instalação:

Tabela 2 – Comparação entre Minigeração e Microgeração de Energia

Topologia	Potência Instalada	Condições
Microgeração	Menor ou igual a 75 kW	Cogeração qualificada; Fontes renováveis de energia elétrica; Conectada na rede de distribuição por meio de unidades consumidoras;
Minigeração	75 kW a 3 MW	Fontes hídricas; Conectada na rede de distribuição por meio de unidades consumidoras;
	75 kW a 5 MW	Cogeração qualificada; Fontes renováveis de energia elétrica; Conectada na rede de distribuição por meio de unidades consumidoras;

Fonte: Elaborado pelas autoras a partir dos dados da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE (2023).

Uma outra alteração realizada pela Lei nº 14.300/2022 é a possibilidade de realocação dos créditos excedentes para outras unidades consumidoras do titular na mesma área de

concessão e também a possibilidade da transferência da titularidade das contas de energia para o consumidor-gerador pelos consórcios, cooperativas e demais associações.

De acordo com o marco legal, ainda são válidas as regras das resoluções normativas anteriores durante o período transitório, válido até janeiro de 2029, onde a partir dessa data, as normas definitivas serão exigidas. Ainda no ano de 2023 e nos meses subsequentes à aprovação dessa Lei, as regras partidárias anteriores são válidas para novas solicitações e também para os sistemas já estabelecidos, todos esses com prazo limite estabelecido.

Com todas as implementações e mudanças sancionadas pela Lei mencionada, é possível concluir que o cenário de geração distribuída no Brasil está sujeito a alterações para atender gradualmente as necessidades de consumo de energia elétrica nas mais diversas comunidades locais e remotas.

2.3.3 Modalidades da geração distribuída

A geração distribuída pode ser dividida em quatro modalidades, sendo estas a geração de autoconsumo local, autoconsumo remoto, geração compartilhada e os empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras, conforme apresentado na Figura 6. As modalidades da geração distribuída estão descritas a seguir:

- a) Autoconsumo local: A modalidade de autoconsumo local é conhecida como a mais comum da geração de energia, visto que se trata de um sistema de geração instalado no mesmo local onde será realizado o consumo. Uma aplicação desse autoconsumo, é a energia gerada em painéis fotovoltaicos instalados em uma residência, no qual a energia produzida irá descontar do consumo de toda a propriedade;
- b) Autoconsumo remoto: O autoconsumo remoto, por sua vez, é uma categoria da geração distribuída que possibilita ao consumidor gerar energia dentro de uma propriedade e utilizar o seu excedente para compensar o consumo de outras, a partir do princípio de que todas essas estejam na titularidade da mesma pessoa física ou jurídica e na área de concessão de uma mesma distribuidora;
- c) Geração compartilhada: A geração compartilhada de energia ocorre quando há o compartilhamento de energia entre duas ou mais unidades consumidoras. Entre os consumidores, podem estar associadas duas ou mais empresas ou também entre pessoas físicas, dentro de uma área de concessão da mesma distribuidora, que realizam um investimento na microgeração ou minigeração

de energia para que essa seja compartilhada entre todos os presentes, por meio de consórcios ou cooperativas para titularidade do gerador;

- d) Empreendimentos de geração com múltiplas unidades consumidoras: Os empreendimentos de geração com múltiplas unidades consumidoras (EMUC) consistem em um conjunto de consumidores que utilizam a energia de forma independente em uma única propriedade ou em propriedades contíguas, de acordo com percentuais definidos em um contrato;

Essa modalidade é empregada em condomínios residenciais, prédios comerciais e demais estruturas similares, de forma que as áreas comuns possuam uma tarifa independente e de responsabilidade da administração ou do proprietário do local. Uma restrição desse tipo de geração distribuída é em vias públicas, passagens aéreas e subterrâneas e propriedades de terceiros, visto que não é viabilizada para essas instalações.

Figura 6 – Infográfico das modalidades da geração distribuída.



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL.

2.3.4 Benefícios da geração distribuída

A geração distribuída possui diversos benefícios para o sistema elétrico e para a sociedade de forma geral, principalmente pela proximidade dos geradores das cargas, ocasionando em uma redução das perdas elétricas e sobrecarga no sistema, visto que não há a necessidade da implementação das linhas de transmissão.

Com a proximidade da carga, a geração distribuída oferece um equilíbrio das cargas no sistema, na rede de distribuição e na fronteira com a rede base e também uma melhoria no nível de tensão na rede nos períodos de sobrecarga.

Diante da utilização de fontes renováveis alternativas e melhor aproveitamento dos recursos, a implantação da geração distribuída em uma comunidade reduz os impactos ambientais e garante uma matriz energética mais diversificada e sustentável.

A geração distribuída apresenta uma grande vantagem para os consumidores e também para os distribuidores devido ao equilíbrio entre a geração centralizada e distribuída, além de que, conforme Greyci Girardi (2019), marca um modelo com vantagem nos aspectos econômico, inovadores e autônomos do consumidor.

Em relação ao consumidor, diante de uma análise prévia para a instalação de um sistema de geração distribuída e com mecanismos de gerenciamento dos créditos obtidos da geração, o principal benefício está relacionado à economia obtida no âmbito financeiro.

A partir da projeção de um modelo que atenda as expectativas do usuário e possua um retorno seguro em seu investimento inicial, o projeto garante ao consumidor uma maior eficiência energética e independência energética do sistema elétrico, conforme a Figura 7.

Figura 7 – Principais benefícios da geração distribuída.



Fonte: Elaborado pelas autoras, 2023.

2.3.5 Mini e Microgeração Distribuída de Energia Elétrica no Brasil

O cenário atual da geração distribuída de energia elétrica no Brasil é bastante promissor. Conforme os dados de geração distribuída da ANEEL, até 01 de abril de 2023, há 1.824.084 sistemas de geração distribuída instalados em todo o país, com uma capacidade total de geração de mais de 19,41 gigawatts (GW).

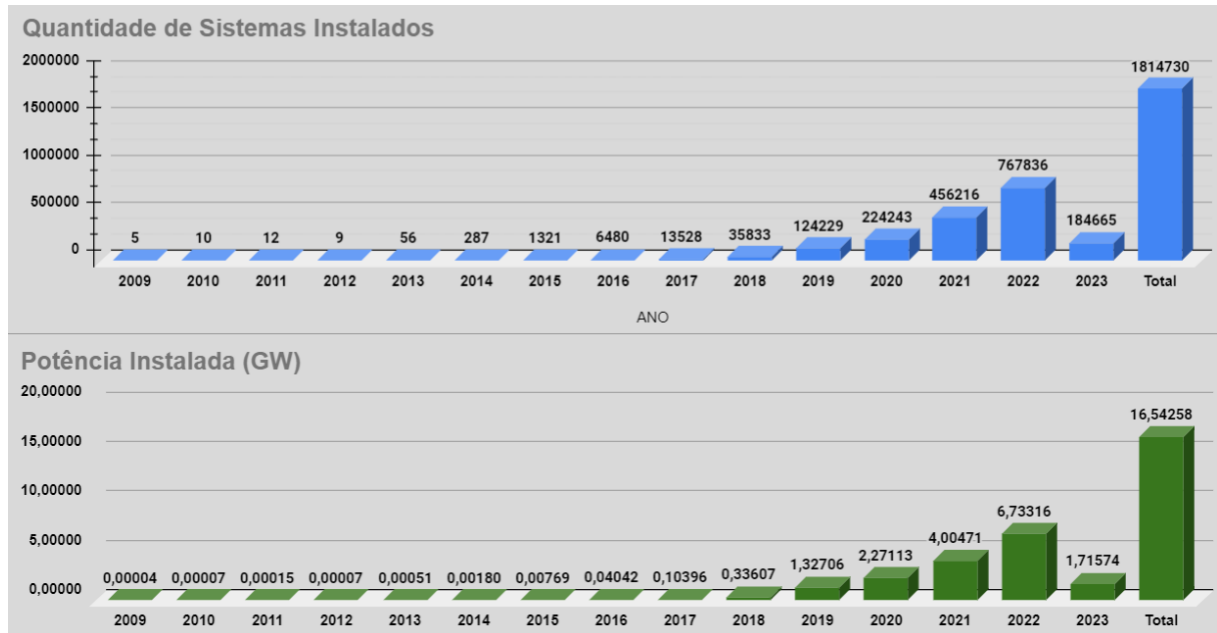
Sendo que 1.814.730 do total instalado, são sistemas de microgeração distribuída de energia (potência instalada de 0 a 75 kW), com uma capacidade total de geração de mais de 16,54 GW. Isso representa um crescimento significativo em relação aos números de 2020, quando havia cerca de 406 mil sistemas de microgeração distribuída de energia instalados e uma capacidade de geração de cerca de 4,08 GW, conforme pode ser observado no Gráfico 3.

Dentre as fontes renováveis de energia, a energia solar fotovoltaica é a fonte mais utilizada para a microgeração de energia elétrica no Brasil, representando mais de 99% dos sistemas instalados, os outros 1% são representados pela energia eólica, hidrelétrica, termelétrica e de biomassa.

Com esse cenário positivo de microgeração de energia elétrica no país, a tendência é que esses números continuem em expansão, com a implementação de novos programas e incentivos do governo.

O Governo Federal tem implementado programas e incentivos para estimular a microgeração de energia elétrica no Brasil, como o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD), que prevê a isenção de impostos para equipamentos e componentes utilizados na microgeração de energia elétrica. Em 2020, a ANEEL aprovou a resolução normativa (nº 819/2020), que amplia as possibilidades de uso da microgeração distribuída em condomínios e empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras.

Gráfico 3 - Evolução da microgeração distribuída de energia no Brasil por ano até 2023.



Fonte: Elaborado pelas autoras a partir dos dados da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, 2023.

2.3.6 Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica

Com o avanço significativo da geração distribuída por todo o país e para um incentivo cada vez maior a produção de energia elétrica pelos próprios consumidores, o Ministério de Minas e Energia (MME) lançou um programa de incentivo no dia 15 de dezembro de 2015, o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD).

Entre uma das principais metas desse programa está a redução da emissão de dióxido de carbono (CO₂), da qual o Ministério de Minas e Energia (MME) estima que até 2030, 2,7 milhões de consumidores poderão ter o consumo da própria energia produzida, resultando em aproximadamente 23500 MW de energia renovável e com a redução da emissão de 29 milhões de toneladas de gás carbônico (CO₂) na atmosfera.

O aumento apresentado da geração de energia renovável no país em 2030, significa elevar os índices da matriz energética de energias renováveis para aproximadamente 23%. Além disso, o alcance de eficiência energética em todo o território até 2030 é estimado em 10%, conforme apresentado pela empresa Portal Solar, do grupo Votorantim.

De acordo com uma afirmação realizada em abril de 2016 por Nelson Colaferro, sócio fundador da BlueSol Energia Solar, as linhas de desenvolvimento desse programa de incentivo são o financiamento de grandes bancos; melhorias na tributação; desenvolvimento de aplicação

dos incentivos em instalações públicas, como em escolas e universidades federais com a instalação de painéis fotovoltaicos; formação de mão de obra com a implementação de cursos adaptados ao novo mercado voltado a geração distribuída; redução de impactos elétricos e regulatórios; entre outros.

Até o ano de 2030, Nelson também afirma que a partir desse programa de incentivo, o Brasil terá aproximadamente R\$ 100 bilhões investidos na geração distribuída, com ênfase na geração através da fonte solar fotovoltaica.

As medidas adotadas pelo ProGD variam entre o estímulo aos agentes vendedores de energia de empreendimentos; estudos baseados na venda de energia no mercado livre de energia (ACL); grupo de acompanhamento das ações e aprimoramentos legais, tributários e regulatórios formados pelo Ministério de Minas e Energia (MME), Aneel, Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel) e a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE); criação e expansão das linhas de créditos; e demais medidas conforme as linhas de desenvolvimentos apresentadas (Portal Solar, 2023).

O impacto tarifário, considerando que os 2,7 milhões de geradores distribuídos estimados são de fontes de energia fotovoltaica e de forma proporcional a cada concessionária no mercado, foi calculado pelo MME, em um relatório apresentado do ProGD, com base nos dados apresentados na Tabela 3. A partir do cálculo realizado, o impacto médio para o alcance de 2,7 milhões de unidades com geração distribuída no ano de 2030 será em torno de 2,16%.

Tabela 3 – Dados utilizados no cálculo do impacto tarifário para cada distribuidora em 2030.

Quantidade de GD no ano de 2030	2.700.000 UCs
Potência total instalada	5400 MW
Ano	2030
Tamanho de cada GD	2 kW
Diminuição anual da energia gerada	0,50%
Crescimento do mercado da distribuidora	4% a.a
Desconto TUSD (Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição)	100%

Fonte: Elaborado pelas autoras a partir dos dados analisados pelo Ministério de Minas e Energia - MME, 2023.

2.3.7 Incentivos Fiscais e Tributários no País

O Convênio CONFAZ 16/2015, publicado em 22 de abril de 2015, com efeitos legais a partir de 1 de setembro de 2015, permitiu aos estados a concessão de incentivos de ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços) para micro e minigeração distribuída de energia utilizadas pelas classes residencial, comercial e industrial. O Estado do Amazonas aderiu ao Convênio 16/2015 por meio do ICMS 42/18, de 16 de maio de 2018 (ABDG, 2020).

O REIDI (Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura), é um benefício que visa suspender o pagamento das contribuições como PIS (Programa de Integração Social)/PASEP (Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público)/COFINS (Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social) para os casos de venda ou de importação de máquinas, aparelhos, instrumentos e equipamentos, novos, e de materiais de construção para utilização ou incorporação em obras de infraestrutura destinadas ao ativo imobilizado (BRASIL, 2007a). Inclui-se nesse benefício as empresas que possuam projeto aprovado para implantação de obras de infraestrutura nos setores de transportes, portos, saneamento básico, irrigação e energia, o que inclui usinas fotovoltaicas (ABDG, 2020).

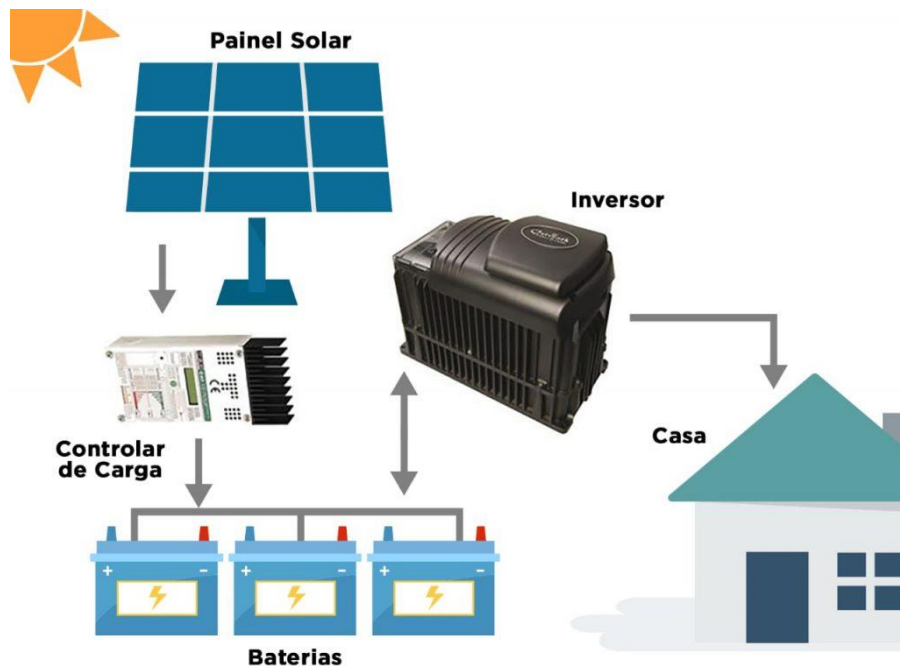
O PADIS (Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores), que visa a isenção de PIS/COFINS para micro e minigeração de energia elétrica para consumidores residenciais, comerciais e industriais que produzam sua própria energia (ABDG, 2020).

2.4 SISTEMAS ISOLADOS

O crescimento na demanda por energia elétrica e a subsequente escassez de recursos para sua geração em conjunto com a dificuldade de expansão do sistema interligado nacional para regiões isoladas, têm impulsionado o desenvolvimento de novas fontes geradoras de energia elétrica. Além dos sistemas conectados à rede elétrica já implementados, iniciou-se a implantação de sistemas isolados de energia elétrica como uma alternativa importante para levar energia elétrica para regiões que ainda não possuem acesso.

Um sistema isolado de energia é um sistema de geração e distribuição de energia que opera de forma independente e sem estar conectado à rede elétrica principal, como o sistema fotovoltaico representado na Figura 8. A baixa densidade demográfica, demanda reprimida e predominância de áreas residenciais são características desse sistema.

Figura 8 – Sistema fotovoltaico isolado da rede elétrica.



Fonte: Sharenergy, 2023.

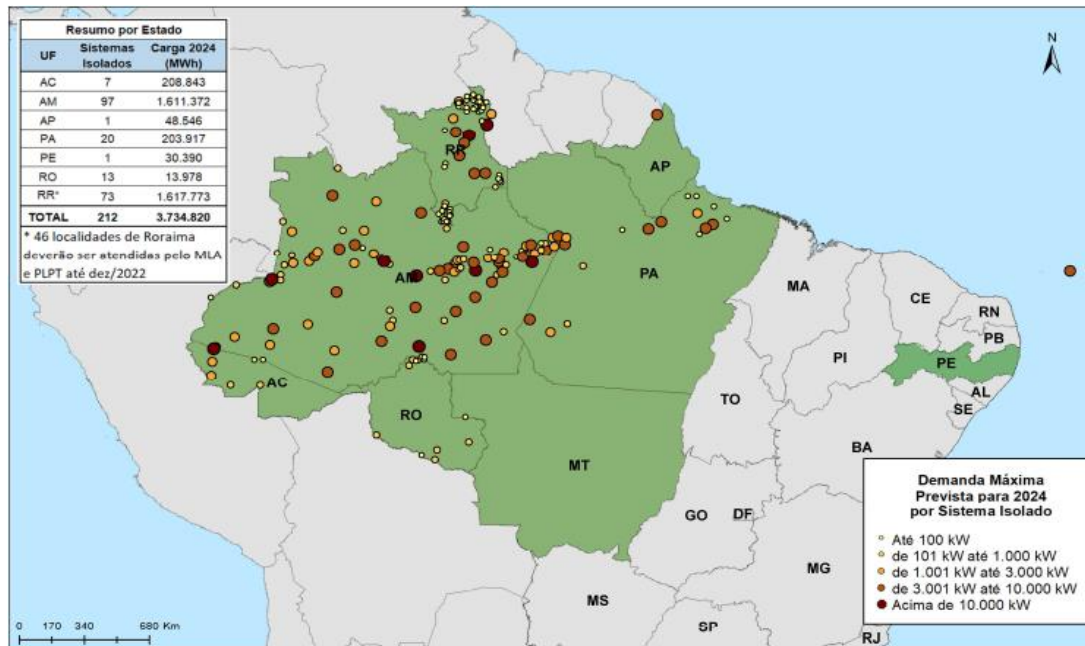
2.4.1 Sistemas Isolados no Brasil

No Brasil possuímos 212 sistemas elétricos isolados e concentrados principalmente na região Norte do Brasil, como os estados de Rondônia, Acre, Amazonas, Roraima, Amapá e Pará, e também na Ilha de Fernando de Noronha (Pernambuco) e determinadas áreas do estado de Mato Grosso. Conforme a ONS, a única capital que não é atendida por um sistema isolado é Boa Vista, do estado de Roraima.

O sistema elétrico isolado brasileiro representa em torno de 3 milhões de consumidores, segundo dados fornecidos pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE). A demanda desses consumidores é atendida principalmente pelo óleo diesel, através dos motores movidos por esse combustível.

Os estados que compõem o sistema isolado nacional estão representados na Figura 9, ressaltando a concentração na região Norte e também é evidenciado para o ano de 2024 as demandas estimadas por esses sistemas.

Figura 9 – Sistemas Isolados do Brasil.



Fonte: EPE, 2022.

2.4.2 Arcabouço regulatório de Sistemas Isolados

Para regulamentação dos sistemas isolados foi estabelecido o Decreto nº 7.246/2010, do qual os agentes desses sistemas e a ANEEL, responsável pela qualidade do fornecimento e serviços de energia elétrica para áreas de acordo com as suas peculiaridades, possuem como propósito a eficiência econômica e energética, diminuição dos impactos ambientais e utilização de recursos energéticos locais para garantir uma geração de energia sustentável economicamente.

O planejamento de atendimento dos sistemas isolados é realizado através de propostas de projeto para o período de 10 anos, a partir do ano subsequente, e com base em uma análise de dados dos custos e situações dos sistemas fornecida pelo Portal de Acompanhamento de Sistemas Isolados (Pasi), conforme definido na Resolução Normativa nº 59.

A plataforma do Pasi foi desenvolvida pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) composta por todos os dados de mercado, geográficos e econômicos dos sistemas isolados para garantir um acesso automatizado para a coleta, análise e divulgação de dados dos planejamentos.

Além do Pasi, foi criado o mecanismo de Livre Proposta de Interesse (LPI) para que os empreendedores possam a disponibilidade de indicar Soluções de Suprimento para expansão, substituição ou complemento de projetos existentes nas áreas isoladas com o objetivo de uma

redução de custos de subsídios e também qualquer outra medida que resulte em redução potencial da Conta de Consumo dos Combustíveis (CCC). O mecanismo também está descrito na Resolução Normativa nº 59.

A Solução de Suprimento consiste em instalações destinadas à geração, armazenamento e entrega de potência de energia elétrica, a fim de garantir o suprimento com eficiência energética e redução de perdas, conforme a participação em leilões de propostas de soluções de suprimento habilitadas tecnicamente pelo EPE por meio de agentes empreendedores.

Segundo o EPE, o índice de perdas em sistemas isolados é elevado. Para uma atuação eficaz na redução de perdas e também de custos do CCC, foi estabelecido em maio de 2022 o Decreto nº 11.059 que regulamenta o Programa de Redução Estrutural de Custos de Geração de Energia na Amazônia Legal e de Navegabilidade do Rio Madeira e do Rio Tocantins, o projeto Pró-Amazônia Legal.

Os índices comprovam que a competitividade nacional das indústrias no cenário de sistemas isolados diminuiu nos últimos anos devido às elevadas tarifas de subsídios impostas pelo governo. Entretanto, com os projetos de planejamento, propostas de Soluções de Suprimento realizadas nos leilões e ação de agentes atuantes em uma redução técnica, o resultado do cenário atual dos sistemas isolados no Brasil está se transformando positivamente.

2.4.3 Sistemas Isolados e Fontes Intermitentes

Conforme apresentado pela Eletrobras (2017), uma fonte intermitente refere-se a qualquer recurso energético renovável que não está constantemente disponível devido a fatores que não podem ser diretamente controlados e que não pode ser armazenado em sua forma original para posterior conversão em energia elétrica por um sistema de geração de energia.

As fontes intermitentes de energia são altamente variáveis e não podem fornecer um fluxo constante e consistente de eletricidade. Para lidar com a intermitência dessas fontes de energia e garantir um suprimento contínuo de eletricidade, os sistemas isolados com fontes intermitentes normalmente incorporam tecnologias de armazenamento de energia, como baterias. Isso permite que o excesso de energia gerado durante os períodos de alta produção seja armazenado e usado quando a produção é baixa.

Os sistemas isolados e com fontes intermitentes são aqueles sistemas que dependem de fontes de energia sujeitas a variações, como energia solar e eólica, que geram eletricidade somente quando as condições climáticas são favoráveis, como são os sistemas utilizados no programa Mais Luz para Amazônia (MLA), na área de atuação na região da Amazônia Legal.

Os sistemas isolados e com fontes intermitentes são divididos em dois tipos: Microssistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica - MIGDI e o Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente - SIGFI. Segundo a Eletrobras (2017), sistemas MIGDI são microssistemas isolados de geração e distribuição de energia elétrica com potência instalada total de geração de até 100 kW e, atendem mais de uma unidade consumidora por meio de uma micro rede de distribuição. Sistemas SIGFI são sistemas de geração de energia elétrica, utilizados para o atendimento de uma única unidade consumidora.

Em comparação a utilização de SIGFIs e MIGDIs, existem vantagens e desvantagens entre eles de acordo com tópicos principais como o uso de dispositivo de controle de demanda, preservação, custos dos equipamentos e obras, perda técnica, espaço físico e Sistemas de Coleta de Dados Operacionais (SCD), conforme apresentados na Tabela 4 abaixo.

Tabela 4 – Comparativo entre os sistemas SIGFIs e MIGDIs.

Vantagens e Desvantagens		
Tópicos	SIGFI	MIGDI
Dispositivo de controle de demanda	Não tem necessidade de dispositivo de controle de demanda	Podem ter a necessidade de dispositivo de controle de demanda
Preservação	Maior probabilidade de uso indevido dos equipamentos por ser um sistema individual	Maior possibilidade de preservação devido à condição comunitária da miniusina
Custo equipamentos	Apresentam custo com aquisição de equipamentos (por UC) maior devido à compra de equipamentos de menor porte	Apresentam custo com aquisição de equipamentos menor devido à compra de equipamentos de maior porte e que atendem mais de uma UC por vez
Custos de obra	Não apresentam custos de mini rede e obra civil	Apresentam custos de mini rede e obra civil, que são inexistentes nos SIGFIs
Perda Técnica	Apresentam menor perda técnica	Apresentam perda técnica maior, visto a existência de rede de distribuição
Espaço Físico	Não demandam tanto espaço físico para instalação	Demandam maior área disponível para instalação do arranjo fotovoltaico e da miniusina, além da própria mini rede.
Sistema de Coleta de Dados Operacionais - SCD	Não há obrigatoriedade de implantação de Sistema de Coleta de Dados Operacionais - SCD.	Obrigatoriamente tem que implantar Sistema de Coleta de Dados Operacionais – SCD.

Fonte: Elaborado pelas autoras a partir do material divulgado pela Eletrobras (2017), 2023.

Os procedimentos e condições desses dois tipos de sistemas isolados foram definidos pela Resolução Normativa nº 1.000/2021, enquanto que a Agência Nacional de Energia Elétrica é responsável pelo acompanhamento dos atendimentos e qualidade do fornecimento das unidades consumidoras.

Para um acompanhamento semestral dos dados obtidos pela Agência, foram criados dois painéis principais, os painéis de cadastro e registro de ocorrências do atendimento aos Sistemas Intermitentes e Isolados com as informações requeridas pela norma, apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Informações solicitadas para Atendimento dos Sistemas Intermitentes e Isolados.

Cadastro do Atendimento aos Sistemas Intermitentes e Isolados	Ocorrências do Atendimento aos Sistemas Intermitentes e Isolados
Distribuidora responsável	Distribuidora responsável
Categoria SIGFI ou MIGDI	Código da unidade consumidora
Código da unidade consumidora	Tipo da ocorrência
Classe, Tensão e Grupo tarifário	Duração da ocorrência
Disponibilidade Mensal e tipo de matriz utilizada (para SIGFI)	Fato gerador
Coordenadas geográficas	Prazo de resolução da ocorrência

Fonte: Elaborado pelas autoras a partir das informações da Agência Nacional de Energia Elétrica, 2023.

2.4.4 Fontes de Energia Renováveis Viáveis para a Geração de Energia em Áreas Remotas da Amazônia Legal

2.4.4.1 Energia Hidráulica

A produção de energia hidráulica ocorre através da “turbina hidráulica, capaz de transformar a energia cinética e potencial da água em energia mecânica, que é, então, transformada em energia elétrica por meio de geradores elétricos, que nada mais são do que conversores eletromecânicos de energia” (Reis, 2017, p.105).

Detalhando mais o processo pode-se dizer que em uma geração hidrelétrica, a água aciona uma turbina hidráulica que movimenta o rotor de um gerador elétrico para produção de energia elétrica. A turbina hidráulica efetua a transformação da energia hidráulica em mecânica, a movimentação da água faz girar um eixo mecânico. Então “o gerador elétrico tem seu rotor acionado por acoplamento mecânico com a turbina e transforma energia mecânica em elétrica em razão das interações eletromagnéticas ocorridas em seu interior” (Reis, 2017, p.109).

A capacidade de geração de energia elétrica em uma usina hidrelétrica está diretamente relacionada com a magnitude da queda d'água (energia potencial) e com a vazão de água passando pela turbina (energia cinética). As usinas hidrelétricas "a fio d'água" são aquelas que não possuem reservatório de acumulação, ou que possuem um reservatório de acumulação com capacidade insuficiente para que a vazão disponível para as turbinas seja muito diferente da vazão estabelecida pelo regime fluvial.

Nesse cenário, as usinas hidrelétricas de pequeno porte podem ser instaladas, como mini hidrelétricas e micro hidrelétricas, que têm capacidade instalada de produção de energia elétrica igual ou menor que 1 MW. As usinas com potência instalada de 75 kW a 3 MW são chamadas de minicentrals hidrelétricas e podem utilizar geradores do tipo assíncrono, que são mais acessíveis economicamente, mas não são adequados para uso em grandes usinas por motivos técnicos.

Conforme relatado por Di Lascio e Barreto (2009), a grande disponibilidade de água na Amazônia não significa a possibilidade de uso deste recurso para fins energéticos em todos os locais, pois mais de metade da área da Amazônia Legal é plana com rios de baixa velocidade, onde as energias potencial e cinética da água são inexpressivas, proporcionando sítios pouco favoráveis para aproveitamentos hidroelétricos. À medida que os rios se afastam da Planície Amazônica, surgem desníveis, corredeiras e cachoeiras que criam locais propícios para a geração de energia hidrelétrica.

De maneira geral a Amazônia possui potencial hidrelétrico, com inúmeros rios e cachoeiras que podem ser aproveitados para a geração de energia elétrica. Além disso, a microgeração hidráulica é uma alternativa mais limpa e sustentável do que as grandes hidrelétricas, que muitas vezes causam impactos ambientais significativos, como a inundação de grandes áreas de floresta e a alteração do fluxo dos rios.

No entanto, é importante ressaltar que a construção de usinas hidrelétricas, independente do porte, na Amazônia deve ser feita com cuidado, levando em consideração os impactos ambientais e sociais locais. É necessário realizar estudos prévios para avaliar os possíveis impactos da construção das usinas, bem como garantir a participação e o consentimento das comunidades locais nas decisões que afetam o seu território.

2.4.4.2 Energia Eólica

“A energia eólica consiste na energia cinética contida nos movimentos das massas de ar na atmosfera (ventos), produzidos essencialmente pelo aquecimento diferenciado das camadas

de ar pelo Sol (geração de diferentes densidades e gradientes de pressão) e pelo movimento de rotação da Terra sobre o seu próprio eixo” (Reis, 2017, p.289).

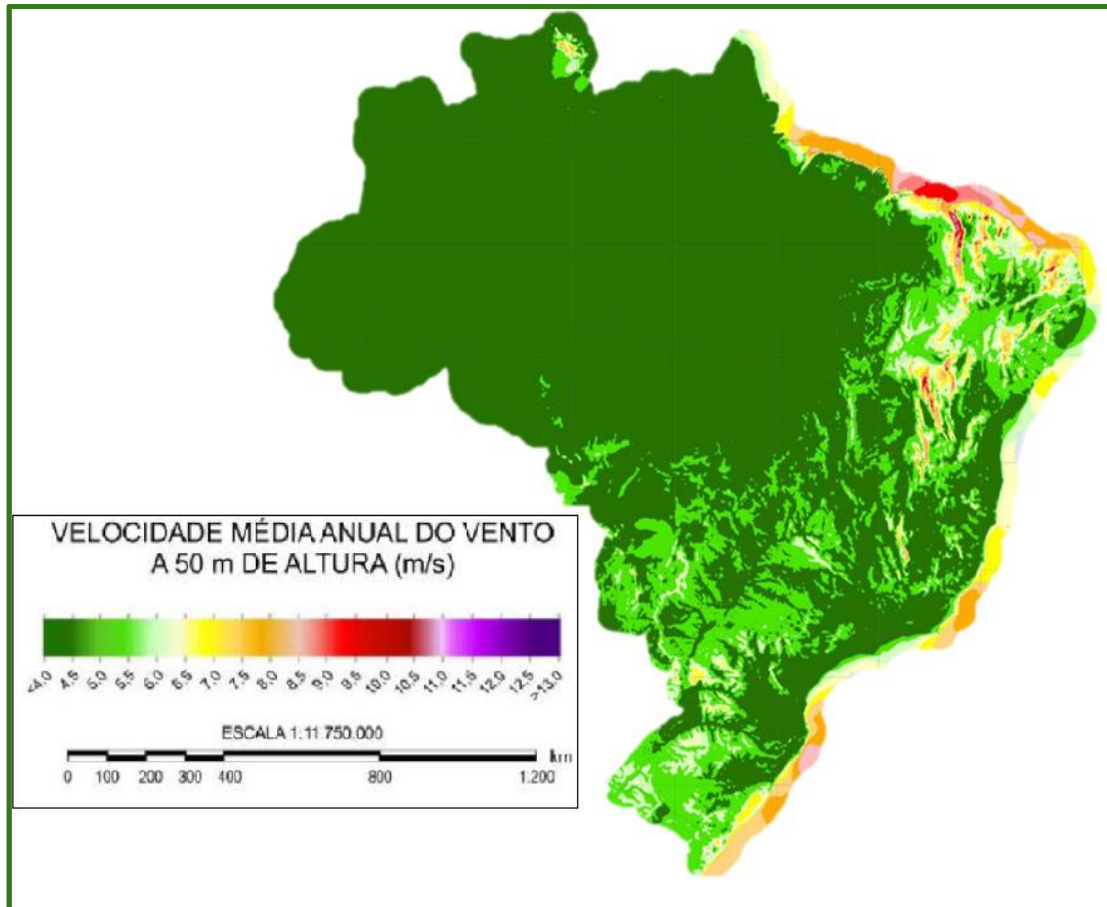
De acordo com Fadigas (2023), a geração de energia eólica ocorre por meio de aerogeradores, que são grandes turbinas com hélices que giram impulsionadas pelo vento. Quando as hélices giram, a energia cinética do vento é convertida em energia mecânica, que é transferida para um gerador elétrico acoplado à turbina. O gerador converte então a energia mecânica em energia elétrica.

Nos sistemas eólicos, o fator de capacidade reflete a qualidade do regime dos ventos, e significa a razão da energia elétrica média gerada em um período de tempo que seria produzida se a turbina eólica operasse com sua potência nominal durante todo esse mesmo período. No caso da Amazônia, o fator de capacidade é baixo sendo de apenas 0,20 (Eletrobras, 2001).

Segundo Di Lascio e Barreto (2009), o uso da energia eólica na Amazônia está limitado a alguns poucos sítios, quase todos situados em uma estreita faixa junto ao litoral. Nesses sítios, com velocidades médias anuais na faixa de 3,5 a 6 m/s, podem ser utilizados cata-ventos, que têm baixa eficiência, mas seu uso para bombeamento de água é bastante satisfatório porque eles funcionam com pouco vento, entre 1,4 e 6 m/s, o custo de aquisição é reduzido e a manutenção muito simples. No caso das pequenas turbinas, as velocidades médias anuais de vento aceitáveis são maiores que 4 m/s.

No Atlas do Potencial Eólico Brasileiro são apresentadas as distribuições anuais de velocidade média do vento a uma altura de 50 metros de altura, conforme visto na Figura 10. No Atlas é possível constatar que a pequena velocidade do vento torna inadequada a implantação de turbinas eólicas na maior parte da Amazônia por ter uma velocidade média anual menor que 4,0 m/s.

Figura 10 – Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (Simulações de 2013).



Fonte: Eletrobras, 2017.

Contudo, nas regiões isoladas da Amazônia onde há incidência de ventos fortes e constantes, a microgeração de energia eólica é uma opção viável para a geração de eletricidade. Uma das principais vantagens da energia eólica é ser uma fonte limpa e renovável, o que significa que não emite gases de efeito estufa ou outros poluentes que possam prejudicar o meio ambiente e a saúde humana. No entanto, é importante ressaltar que a microgeração de energia eólica apresenta algumas desvantagens, como a necessidade de uma velocidade de vento maior que 4 m/s para gerar eletricidade de forma eficiente e, o custo inicial para instalação de turbinas eólicas pode ser relativamente alto, embora o custo de manutenção seja relativamente baixo.

Outros desafios devem ser considerados na instalação de turbinas eólicas, como a topografia e as condições climáticas da região que podem afetar a eficiência dos geradores eólicos. As áreas remotas da Amazônia podem dificultar o transporte e a manutenção dos geradores eólicos, tornando a instalação mais onerosa e desafiadora. Por último, a microgeração de energia eólica requer o uso de baterias para armazenar a energia gerada, as baterias podem

ser caras e podem ter uma vida útil limitada, o que pode afetar a eficiência e a viabilidade financeira do sistema.

2.4.4.3 Biocombustíveis

Do ponto de vista energético, biocombustível é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizado para produção de energia (SEYE, 2003).

A geração de energia elétrica a partir de biocombustíveis ocorre por meio de centrais termelétricas a vapor de combustão externa. “O funcionamento das centrais termelétricas baseia-se na conversão de energia térmica em energia mecânica e esta em energia elétrica. A conversão da energia térmica em mecânica se dá por meio do uso de um fluido que produzirá, em seu processo de expansão, trabalho em turbinas térmicas. O acionamento mecânico de um gerador elétrico acoplado ao eixo da turbina permite a conversão de energia mecânica em elétrica” (Reis, 2017, p.161).

Conforme Reis (2017), a queima do biocombustível aquece o fluido de trabalho (em geral água) em uma caldeira até gerar o vapor. O vapor se expande (a pressão passa de alta a baixa) na turbina, e movimenta o gerador elétrico acoplado. O vapor que sai da turbina segue para o condensador, onde se obtém o líquido depois que é retirado o calor e então, o líquido é bombeado de volta à caldeira, fechando o ciclo da central termelétrica.

No uso de biocombustíveis para geração de energia elétrica, se destacam: o setor sucroalcooleiro (com aproveitamento de resíduos e produtos advindos da cana-de-açúcar), o setor de papel e celulose, a biomassa florestal, o aproveitamento de resíduos agrícolas e de pequenas indústrias em nível local e o aproveitamento dos resíduos sólidos urbanos.

Na Amazônia, a biomassa é a fonte de energia primária renovável, que reúne o maior número de vantagens: por estar disponível em toda a região, por causa dos primeiros consumidores potenciais desta energia serem os próprios habitantes das comunidades isoladas, e porque justamente a partir da coleta e beneficiamento desses produtos renováveis, é que está a chave da manutenção do ambiente amazônico. No caso da Amazônia, onde existe abundância de oleaginosas nativas e biomassa florestal, a própria natureza disponibiliza a produção. O biocombustível mais utilizado para a geração de energia elétrica na região é proveniente do bagaço de cana-de-açúcar e de outras culturas, como dendê, babaçu e coco. Também é utilizado a madeira de florestas plantadas e resíduos de madeira como a casca de arroz e de café.

De acordo com Di Lascio e Barreto (2009), apesar da baixa eficiência do ciclo termodinâmico de pequenas caldeiras e turbinas a vapor, e, conseqüentemente, do elevado consumo específico de vapor, esta tecnologia ainda tem se mostrado a mais adequada para a região amazônica. Esse atrativo resulta da simplicidade de operação e manutenção, além disso, elas reduzem o passivo ambiental por causa das perdas elevadas do desdobro e beneficiamento da madeira. Essa realidade possibilita a implantação de sistemas de geração de energia em vários níveis de solicitação de demanda, desde 50 kW até 30 MW.

De acordo com alguns autores, o uso de biocombustíveis para geração de energia elétrica na Amazônia pode trazer benefícios em termos de redução das emissões de gases de efeito estufa e aproveitamento de resíduos agrícolas e florestais. No entanto, é importante considerar algumas desvantagens associadas a essa prática, tais como o impacto ambiental, especialmente se a fonte de biomassa for madeira extraída de florestas nativas, o que pode afetar a biodiversidade da região e a qualidade do ar e da água (Rizzo, 2015).

Além disso, a produção de biocombustível pode gerar conflitos com as comunidades locais, que dependem dos recursos naturais da região para a sua subsistência, e é fundamental que as práticas de produção de biomassa sejam realizadas de forma justa e responsável, respeitando os direitos das comunidades locais.

Outro fator que pode ser considerado uma desvantagem é o custo elevado associado à construção e operação de usinas termelétricas a biocombustível, o que pode tornar essa fonte de energia menos competitiva em comparação com outras fontes de energia (Aguilar, 2017). A eficiência energética das usinas termelétricas a biomassa pode ser menor do que a de outras fontes de energia, o que significa que pode ser necessário usar mais biomassa para gerar a mesma quantidade de energia elétrica (Gómez-Navarro, 2015).

2.4.4.4 Energia Solar

A energia solar é proveniente da luz e do calor do Sol e é considerada como uma fonte de energia alternativa, renovável e sustentável. As principais tecnologias que utilizam a energia solar são definidas a partir do uso da radiação solar para geração de energia direta, como em sistemas fotovoltaicos, e da energia solar térmica, utilizada em projetos de aquecimento.

Os sistemas que utilizam essa fonte primária para a geração de energia podem ser classificados em dois sistemas básicos: sistema fotovoltaico, onde é realizado a transformação de energia solar diretamente em energia elétrica e sistema heliotérmico ou termossolar, no qual

a energia solar produz a energia térmica que será transformada em elétrica, conforme citado por Reis (2017).

A geração de energia através da fonte solar é comumente associada a geração de eletricidade através dos painéis fotovoltaicos. Por mais que existam outros tipos de sistemas, como o térmico e o heliotérmico, o princípio básico para a geração coincidente entre os mesmos, visto que o sistema capta os raios solares e transforma a energia necessária em energia elétrica (Portal Solar, 2023).

2.4.4.4.1 Sistemas fotovoltaicos

A energia solar fotovoltaica é obtida a partir da instalação de dispositivos constituídos de células fotovoltaicas, das quais são compostas por camadas de um material semicondutor, em geral é utilizado o silício, que tem a propriedade de gerar um potencial elétrico através das suas camadas. Esse potencial, em um circuito fechado, faz a corrente elétrica circular externamente às células (Reis 2017).

As células fotovoltaicas mais utilizadas são as de silício monocristalino devido a sua elevada eficiência, seguidas das células de silício policristalino, consideradas mais econômicas quando comparadas à anterior. As células de silício policristalino ou amorfas vêm apresentando mais benefícios em sua utilização, visto que são situadas nas áreas de filmes finos das quais utilizam menor quantidade de material e apresentam menos tempo no seu processo de fabricação, segundo Di Lascio e Barreto (2009).

Com a incidência dos fótons da luz sobre as células fotovoltaicas, os elétrons presentes no material semicondutor são excitados e se movimentam entre a junção dos átomos, em procedimento de dopagem de silício ao material, gerando corrente elétrica e consequentemente uma diferença de potencial, denominado como efeito fotovoltaico.

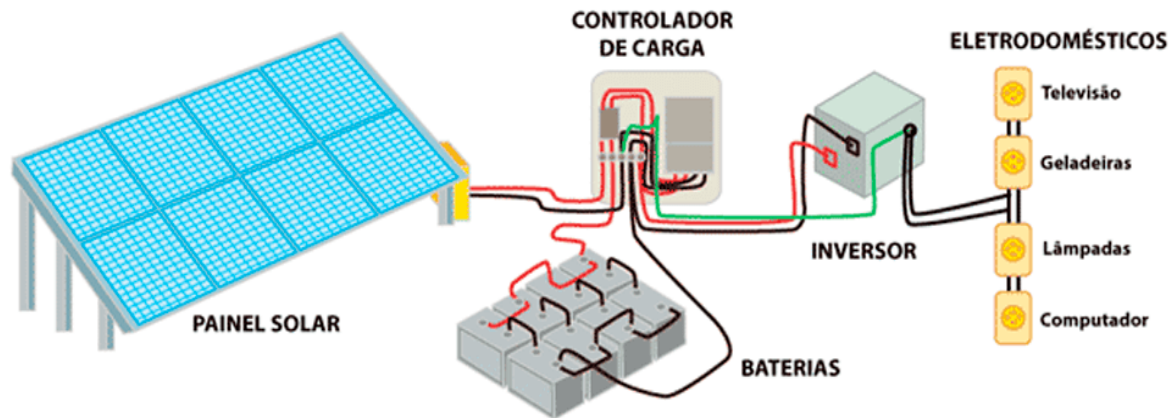
As células são reunidas em paralelo ou série, formando os módulos fotovoltaicos, popularmente conhecidos como painéis fotovoltaicos. Além do conjunto de módulos, esse sistema para geração de energia, é composto por controlador de carga, dispositivos para armazenamento de energia (baterias) e inversor de corrente contínua e alternada (Reis, 2017), conforme apresentado na Figura 11.

A especificação de cada componente integrado em um sistema fotovoltaico é fundamental para garantir uma longa vida útil ao sistema e para também não comprometer os custos do projeto, com a utilização de dispositivos, serviços e instalações de qualidade para o todo o sistema (Eletrobras, 2022).

- a) Módulos fotovoltaicos: formados por um conjunto de células com circuitos interligados em série ou paralelo, os módulos são responsáveis pela conversão da energia solar em energia elétrica. As células mais utilizadas em sua fabricação são as de silício cristalino devido a sua maior eficiência. A instalação desses módulos ou painéis fotovoltaicos são realizados de forma perpendicular à direção da radiação solar para que ocorra uma maior captação dessa fonte de energia. Em geral, o tempo de vida útil de um módulo é superior a 25 anos e com o avanço das tecnologias a estimativa é que o seu custo seja cada vez mais reduzido (Eletrobras, 2022);
- b) Controlador de carga: Dispositivos eletroeletrônicos que gerenciam a carga do banco de baterias ao conectá-lo aos módulos fotovoltaicos do sistema. Esses controladores impedem sobrecargas ou descargas excessivas nas baterias, prolongando sua vida útil. Existem duas tecnologias mais comuns no mercado: controladores com modulação por largura de pulso (PWM) e controladores de ponto de máxima potência do módulo (MPPT). É importante que a especificação do controlador de carga esteja de acordo com o tipo de bateria utilizada, pois controladores de carga projetados para baterias de chumbo-ácido podem não ser adequados para baterias de íons de lítio (Eletrobras, 2022);
- c) Baterias: utilizadas para o armazenamento de energia em períodos de excesso de produção de energia elétrica ou em períodos de diminuição nos índices de produção, sendo essas de grande utilização em sistemas isolados da rede elétrica. Os tipos de baterias mais empregadas são as de chumbo-ácidas e de lítio. Para garantir o gerenciamento de cargas em um banco de baterias, são utilizados dispositivos controladores, conectados aos módulos fotovoltaicos, evitando assim a sobrecarga ou descarga e aumentando a vida útil das baterias (Eletrobras, 2022);
- d) Inversores: dispositivos eletrônicos responsáveis pela conversão de corrente contínua em corrente alternada. Essa conversão possibilita a conexão e sincronização desse dispositivo às redes de distribuição e também em equipamentos elétricos e eletrônicos residenciais e industriais (Reis, 2017). Os inversores podem ser de grande porte (instalações centralizadas) ou pequeno porte (instalações descentralizadas), de acordo com a faixa de potência utilizada no sistema. Os inversores são caracterizados por uma alta confiabilidade, baixa

manutenção, operação na tensão de entrada em ampla faixa de tensão e boa regulação na tensão de saída e outros (Eletrobras, 2022).

Figura 11 – Componentes de um sistema solar fotovoltaico.

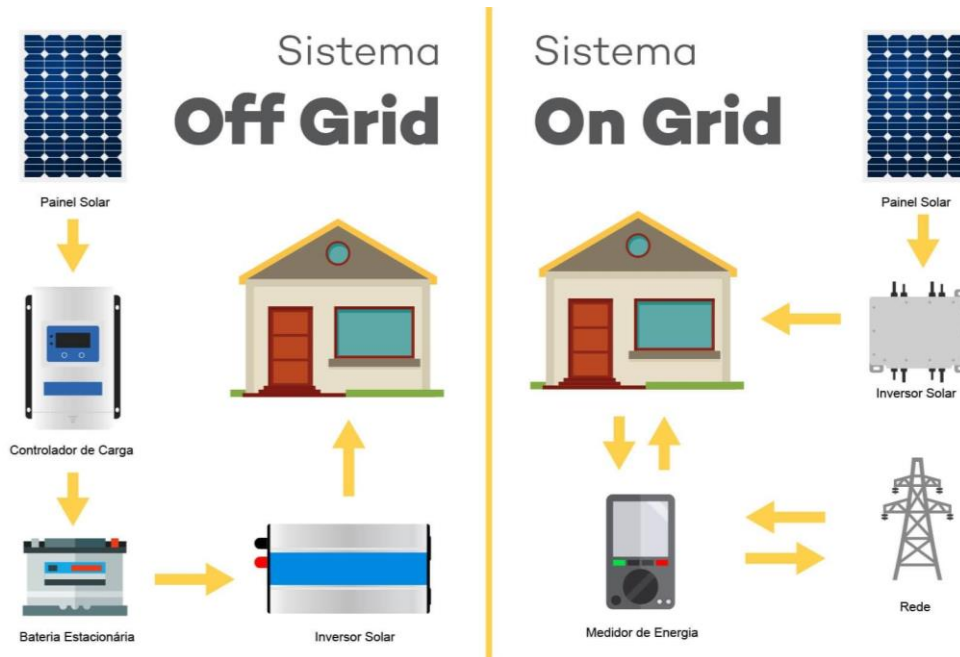


Fonte: Sec Power Energia Confiável, 2023.

Os sistemas fotovoltaicos autônomos ou isolados, conhecidos como *off-grid*, são sistemas desconectados da rede de distribuição. Esses sistemas são os projetados para as áreas mais remotas, visto que esses locais não possuem acesso a rede de energia elétrica das concessionárias. O excesso de energia produzida neste sistema é armazenado nas baterias para suprir os períodos de menor incidência solar.

Os sistemas conectados à rede, sistemas *on-grid*, são classificados de acordo com a sua conexão, como descentralizados, utilizados em projetos de geração distribuída com consumidores autoprodutores que podem injetar o excedente na concessionária local, e centralizados que produzem uma grande quantidade de energia em projetos denominados como centrais fotovoltaicas. Na figura 12 é exibido o modelo desses dois tipos de sistemas.

Figura 12 - Sistemas de geração *off-grid* e *on-grid*.



Fonte: NeoSolar, 2023.

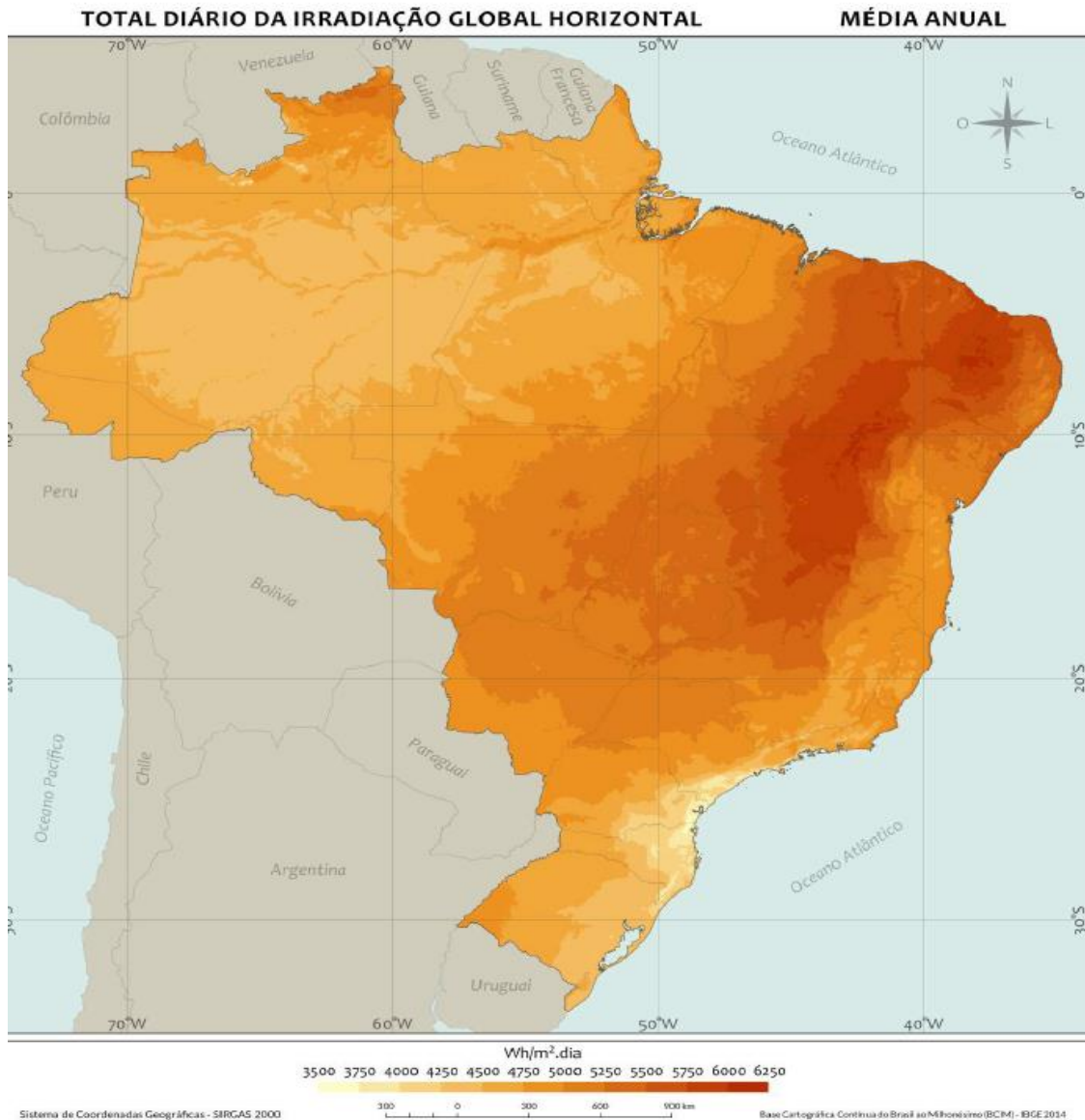
A geração de energia solar, principalmente a partir de sistemas fotovoltaicos, tem aumentado significativamente a sua atuação em diversos países, incluindo países menos desenvolvidos, devido a maiores incentivos nesse tipo de geração e também com a diminuição dos custos de implementação devido aos grandes avanços tecnológicos ocorridos nos últimos anos.

O aumento do número desses projetos de geração ocorreu “tanto em sistemas de grande porte conectados à rede como em sistemas de pequeno porte conectados à rede, no âmbito da geração distribuída ou em sistemas autônomos para a alimentação de pequenos sistemas isolados, em projetos-piloto e na eletrificação de equipamentos solitários (radares, retransmissores de micro-ondas etc.) ” (Reis, 2017, p.31).

O Brasil, um país tropical e com vasta dimensão territorial, apresenta índices de radiação incidentes favoráveis para a implementação de sistemas de geração provenientes dessa fonte de energia renovável, principalmente na região do Nordeste, conforme apresentado no Atlas Brasileiro de Energia Solar na Figura 13.

Além da região do Nordeste, também na “região do semiárido estão os melhores índices, com valores típicos de 200 a 250 W/m² de potência contínua, o que equivale entre 1.752 kWh/m² e 2.190 kWh/m² por ano de radiação incidente” (Reis, 2017, p.249).

Figura 13 – Total diário da irradiação global horizontal no Brasil (média anual).

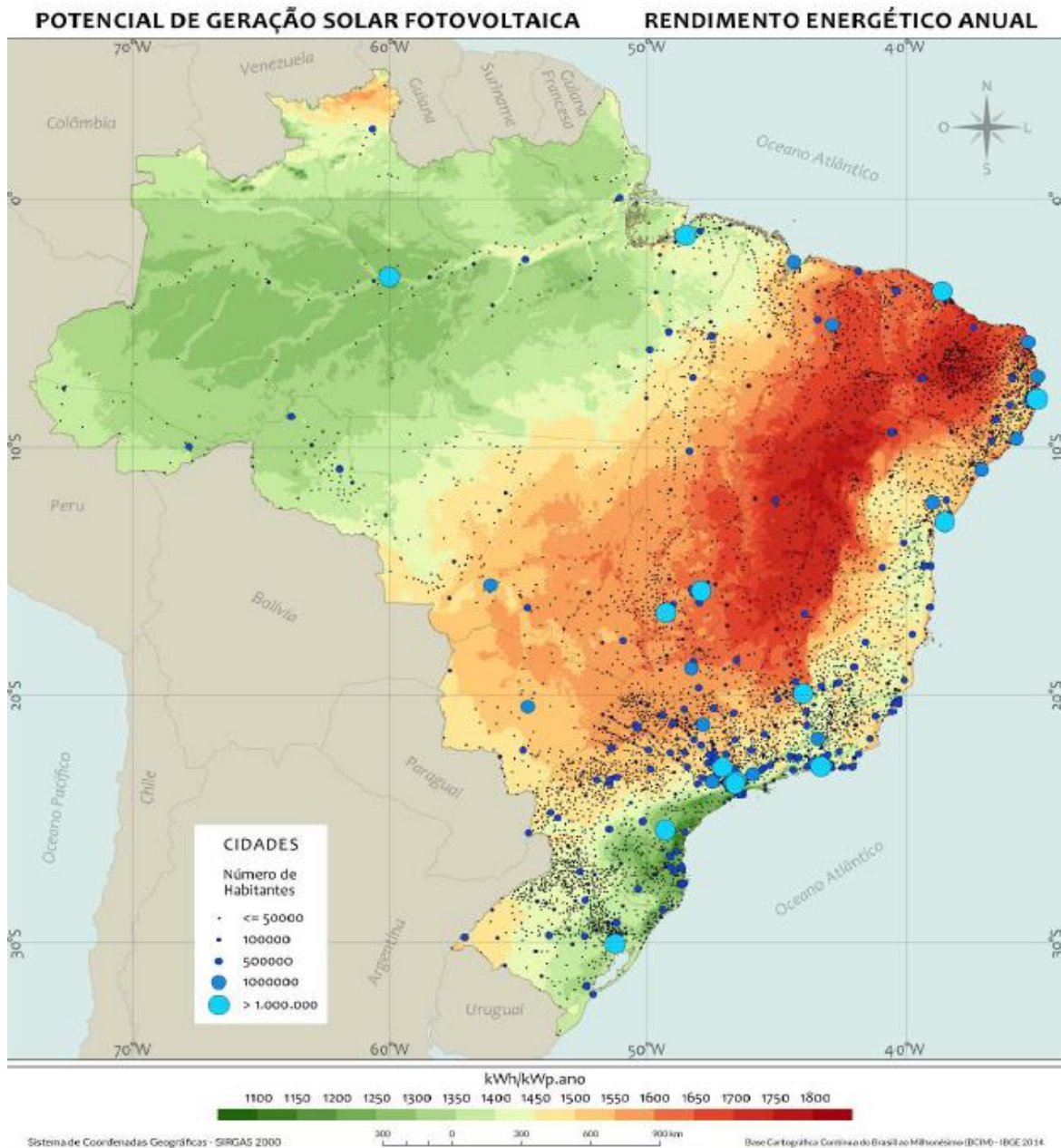


Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar 2ª Edição, 2017.

Conforme apresentado na figura anterior, a disponibilidade de irradiação anual em território nacional é maior justamente nas regiões do país com uma maior concentração de municípios e população, dessa forma o seu potencial de geração solar fotovoltaico (Figura 14), é satisfatório principalmente com o aumento da demanda de energia elétrica no país nos últimos anos.

Com o aumento de instalações desses sistemas e com o seu grande potencial, a energia solar atingiu a posição, em janeiro de 2023, de segunda maior fonte de energia na matriz energética brasileira, informação divulgada pela Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Absolar).

Figura 14 – Potencial de geração solar fotovoltaica no Brasil (rendimento energético anual).



Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar 2ª Edição, 2017.

Na Amazônia, segundo Di Lascio e Barreto (2009), não são todos os locais em que os parâmetros meteorológicos são consistentes, devido a sua extensão territorial, suas densas florestas e dificuldade de acesso apresentada em determinados locais, principalmente nas áreas mais remotas.

Além de que, apesar de o potencial fotovoltaico na região ser elevado, os custos para instalação de sistemas fotovoltaicos na região são elevados, o que limita a dimensão de potência instalada. A poluição ambiental devido as baterias utilizadas compostas com chumbo e ácido também são desvantagens da instalação desses painéis fotovoltaicos.

A geração de energia solar fotovoltaica apresenta diversos benefícios que contribuem para a sua instalação na região Amazônica, como para o meio ambiente com a utilização de uma fonte limpa e renovável, redução do efeito estufa e outros; para o consumidor representa uma independência energética e disponibilidade de energia elétrica em áreas isoladas da região; e também na sua projeção, possui uma longa vida útil e baixo custo de manutenção.

2.5 POLÍTICAS PÚBLICAS RELACIONADAS À MICROGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM COMUNIDADES REMOTAS

A seguir serão apresentados alguns exemplos de políticas públicas, a fim de identificar experiências bem-sucedidas, que sirvam de inspiração para o fomento das fontes renováveis de energia para a implantação de sistemas isolados de geração de energia, valorizando o potencial regional das áreas isoladas da Amazônia Legal.

2.5.1 Programa Luz para Todos

Em 11 de novembro de 2003, o Decreto nº 4.873 deu início ao Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - Programa Luz para Todos, que visava levar energia elétrica a domicílios rurais que não tinham acesso a esse serviço. O programa tinha como objetivo principal promover o desenvolvimento e a inclusão social, uma vez que o censo do IBGE de 2000 mostrou que havia dois milhões de domicílios rurais sem energia elétrica. O Ministério de Minas e Energia coordenou o programa em colaboração com as Coordenações Estaduais, enquanto a Eletrobras foi responsável pela execução das ações do programa.

O programa tinha como propósito inicial fornecer eletricidade aos domicílios rurais, identificados pelo IBGE, até 2008. Segundo informações divulgadas pelo MME, durante a execução do programa, foi descoberto que havia mais famílias sem acesso à energia elétrica, o que levou à edição do Decreto nº 6.442 em 2008, estendendo o prazo até o final de 2010. Posteriormente, o governo federal prorrogou novamente o prazo do programa até 31 de dezembro de 2011, por meio do Decreto nº 7.324, após a meta original de duas milhões de ligações ter sido alcançada em maio de 2009, beneficiando dez milhões de pessoas.

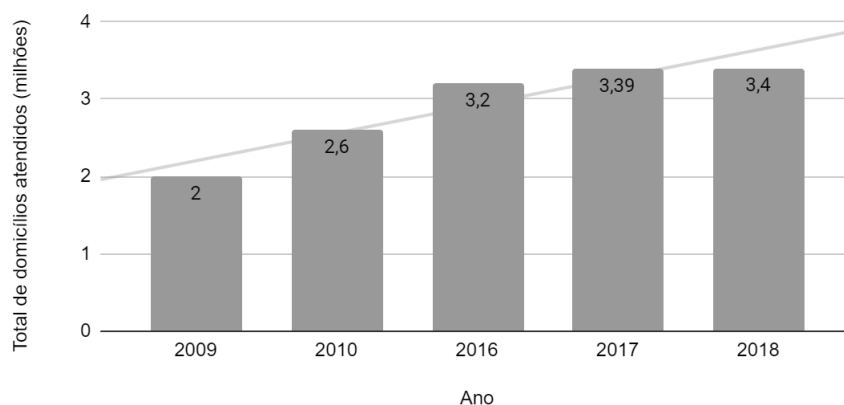
Novas necessidades surgiram, principalmente nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, que já apresentavam altos índices de exclusão elétrica quando o programa foi lançado em 2003.

Além dos desafios logísticos para a realização das obras, essas regiões abrigam grande parte da população indígena, quilombola e das comunidades localizadas em áreas de reserva extrativista. Com o objetivo de atender a essa demanda, foi postergado o programa, que teria vigência de 2011 a 2014, conforme estabelecido pelo Decreto nº 7.520 de 8 de julho de 2011.

Posteriormente, foi prorrogado novamente até 2018 pelo Decreto nº 8.387 de 30 de dezembro de 2014. Até abril de 2018, mais de 3,4 milhões de domicílios rurais foram alcançados pelo programa, beneficiando 16,2 milhões de pessoas (MME, 2018). Em 27 de abril de 2018, o Decreto nº 9.357 foi publicado para estender o programa até o ano de 2022. O programa continua em execução, de acordo com o Decreto nº 11.111 de 29 de junho de 2022, que prorroga a vigência do programa até 31 de dezembro de 2026.

Pesquisas realizadas pelo Ministérios de Minas e Energia em 2009 concluíram que o Programa Luz para Todos trouxe, com a energia elétrica, melhorias diretas e indiretas para os domicílios e as comunidades beneficiadas, bem como conforto, renda, educação e saúde à população rural. No Gráfico 4 abaixo pode-se visualizar a quantidade de domicílios beneficiados por ano até 2018.

Gráfico 4 – Total de domicílios atendidos pelo programa Luz para Todos (milhões) - somatória a cada ano.



Fonte: Elaborado pelas autoras a partir dos dados do Ministério de Minas e Energia - MME, 2020.

2.5.2 Programa Mais Luz para a Amazônia

O Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica na Amazônia Legal - Mais Luz para a Amazônia, foi instaurado por meio do Decreto nº 10.221, de 5 de fevereiro de 2020.

Aprovado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e fiscalizado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), o programa atua na instalação do sistema de geração e armazenamento, da iluminação e da rede elétrica (tomadas) nas residências pertencentes às áreas remotas atendidas pelo projeto.

“O Programa Mais Luz para a Amazônia (MLA) foi criado com o objetivo de promover o acesso à energia elétrica para a população brasileira localizada nas regiões remotas dos estados da Amazônia Legal, visando o desenvolvimento social e econômico destas comunidades. Assim, também possibilita o fomento de atividades voltadas para o aumento da renda familiar e pelo uso sustentável dos recursos naturais da região, primando pela integração de ações das várias esferas de Governo e consequente promoção da cidadania e da dignidade daquela população.” (Ministério de Minas e Energia, 2020).

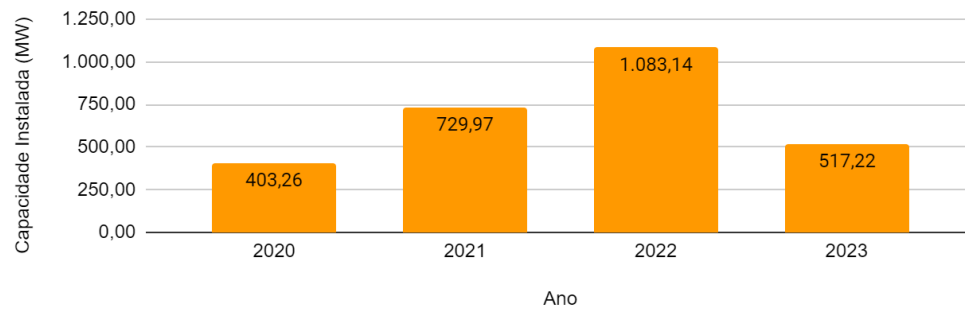
O programa tem por objetivo levar energia limpa e renovável a 70 mil famílias que vivem em áreas remotas da Amazônia Legal, a tecnologia a ser utilizada no programa será de painéis fotovoltaicos, que geram energia elétrica a partir de fonte renovável, energia solar, e podem ser instalados em comunidades que não tem acesso às redes de distribuição convencionais. De acordo com o Decreto nº 11.111 de 29 de junho de 2022 o programa terá vigência até 31 de dezembro de 2030.

No âmbito ambiental, o programa visa reduzir o consumo de combustível fóssil, auxiliar na preservação ambiental e contribuir no cumprimento dos compromissos do Brasil nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 2030 da ONU.

Até o final de 2022, o Programa Mais Luz para a Amazônia (MLA) beneficiou mais de 44 mil pessoas e mais de 11 mil famílias, de acordo com dados do Departamento de Políticas Sociais e Universalização do Acesso à Energia Elétrica do Ministério de Minas e Energia. Segundo o diretor do departamento, André Dias, o programa é crucial para garantir que a população da Amazônia tenha acesso a serviços públicos essenciais.

Segundo informações divulgadas pela Aneel no início de 2023, o Amazonas conseguiu dobrar sua capacidade de geração própria de energia em pouco mais de um ano, alcançando uma potência instalada de 102,2 megawatts (MW), com 99,9% da capacidade proveniente de painéis fotovoltaicos. Em 2021, os estados da Amazônia Legal registraram um aumento de 169% na quantidade de consumidores com sistemas de micro ou minigeração distribuída, superando o crescimento nacional de 111%. No Gráfico 5 estão exibidos os números da capacidade instalada (MW) de micro e minigeração distribuída por ano nos estados da Amazônia Legal.

Gráfico 5 – Capacidade Instalada (MW) por ano nos estados da Amazônia Legal por meio de sistemas de micro e minigeração distribuída.



*2023: Dados computados até abril de 2023.

Fonte: Elaborado pelas autoras a partir dos dados da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, 2023.

3 METODOLOGIA

Neste trabalho, a pesquisa realizada teve como base a revisão bibliográfica, que consistiu na análise de fontes documentais, tais como livros, artigos científicos, teses e dissertações. Para a seleção das fontes, foram utilizadas palavras-chave relacionadas ao tema de pesquisa, bem como a busca em bases de dados especializadas. Após a seleção das fontes, foram realizadas leituras, análises e sínteses dos conteúdos, visando a compreensão e organização das informações relevantes para a construção do referencial teórico do trabalho.

A metodologia empregada neste trabalho acadêmico foi a análise descritiva de projetos de sistemas isolados de geração de energia através de um panorama da área de implantação do projeto, a Amazônia Legal, da situação atual da matriz elétrica brasileira e da apresentação do conceito de geração distribuída e sistemas isolados de geração de energia.

O desenvolvimento inicial do trabalho, além de apresentar a definição, modalidades e benefícios da geração distribuída e dos sistemas isolados de geração de energia, retratou a microgeração e minigeração no Brasil e também as principais fontes de energia renováveis para implementação de projetos de geração, com uma análise principal na energia solar para essa geração, através de projetos de instalação de painéis fotovoltaicos.

A pesquisa foi aplicada com caráter quantitativo, com base em dados obtidos da ANEEL, para o estudo de caso de um projeto de sistema isolado de geração de energia com a instalação de painéis fotovoltaicos na região da Amazônia Legal. Esse projeto foi realizado pelo programa do Governo Federal Mais Luz para a Amazônia, em conjunto com a empresa Intelbras e a execução da empresa Energisa, promovendo o acesso à energia elétrica de mais de 30 comunidades dessa região.

4 DESENVOLVIMENTO

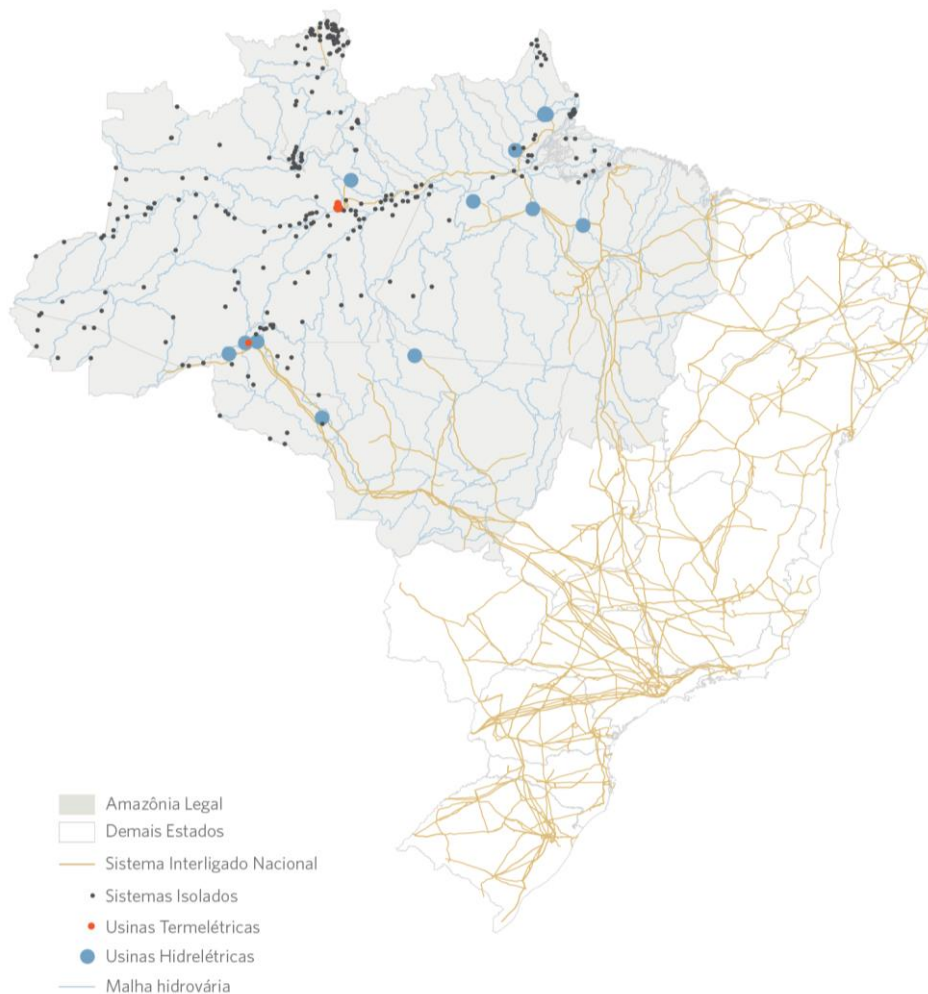
Neste capítulo serão descritos o projeto e as análises realizadas para atingir os objetivos traçados no início deste trabalho. Para isso, foram utilizados dados do programa Mais Luz para Amazônia, na execução do lote do estado do Acre referente ao primeiro tranche do projeto, o qual teve sua execução feita pela concessionária Energisa com apoio da empresa Intelbras.

4.1 AMAZÔNIA LEGAL

A Amazônia Legal é uma vasta região que abrange 59% do território brasileiro e engloba integralmente oito estados (Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins), além de parte do estado do Maranhão, a oeste do meridiano de 44°W, como apresenta a Figura 15. Conforme o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA (2008), a Amazônia Legal totaliza uma área de 5,0 milhões de km² e é habitada por aproximadamente 56% da população indígena brasileira.

Segundo definido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE em seu site oficial, o conceito de Amazônia Legal foi estabelecido com o propósito de estabelecer os limites geográficos da área de atuação da Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia - SUDAM, visando promover o desenvolvimento inclusivo e sustentável nessa região, além de promover a integração competitiva da sua base produtiva na economia nacional e internacional.

Figura 15 – Mapa das Linhas de Transmissão do Sistema Interligado Nacional, Sistemas Isolados e Usinas Hidrelétricas da Amazônia Legal.



Fonte: CPI/PUC-Rio, com base nos dados de EPE, IBGE e IEMA, 2022.

4.2 MLA – ACRE LOTE UM

Para a implementação do programa Mais Luz para a Amazônia (MLA), a área de atuação na região da Amazônia Legal foi subdividida em lotes, os quais foram posteriormente designados às concessionárias de distribuição de energia da região.

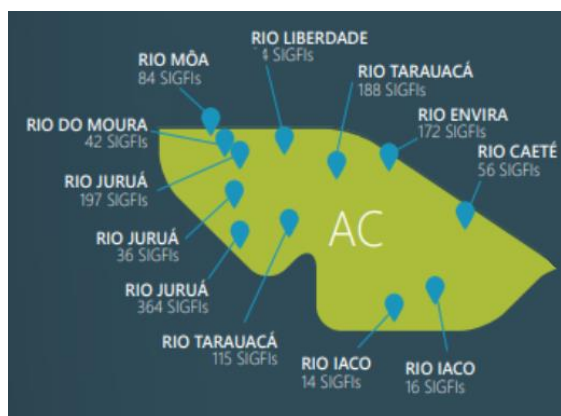
Neste trabalho foram analisados os dados de implementação do programa MLA do lote 1 do estado do Acre, conforme a área de atuação apresentada na Figura 16. Esse lote foi concedido à concessionária de distribuição Energisa, que selecionou a empresa Intelbras como fornecedora dos equipamentos e a One Engenharia para a instalação dos equipamentos nas comunidades isoladas do Acre.

Com mais de 117 anos de experiência no mercado, o Grupo Energisa opera em quatro principais frentes de negócios: Energisa Distribuição, Energisa Transmissão e Geração

Centralizada, (Re)energisa e Voltz. De acordo com as informações divulgadas pelo Grupo Energisa, as atividades do grupo abrangem a comercialização de energia elétrica e a prestação de serviços relacionados à energia elétrica, além de uma presença notável no setor de geração de energia elétrica distribuída, com uma capacidade de 96,6 MWp até 05 de agosto de 2022. O grupo também está envolvido na transmissão de energia, com ativos em operação e construção que somam 3.227 km de linhas de transmissão e uma capacidade de transformação de 14.383 MVA.

A Intelbras é uma empresa brasileira fundada em 1976. Conforme o site oficial da empresa, há mais de 45 anos, atua em várias áreas de tecnologia e telecomunicações, oferecendo produtos e soluções inovadoras em segurança, redes, comunicação e energia, demonstrando um compromisso com a inovação e a sustentabilidade. A Intelbras atua no mercado de energia solar com o propósito de tornar mais acessível e ampliar as oportunidades de investimento em projetos sustentáveis, promovendo a geração de energia mais limpa e contribuindo para a transição em direção a um Brasil mais verde. A empresa oferece no mercado produtos e soluções para sistemas fotovoltaicos *On Grid* e *Off Grid*.

Figura 16 – Área de atuação do programa Mais Luz para Amazônia - Acre lote 1.



Fonte: Energisa, 2023.

Segundo dados da Energisa, no lote 1 do estado do Acre, o plano contemplava a universalização do acesso à energia elétrica em 10 municípios, abrangendo cerca de 30 comunidades isoladas. A meta era implantar 1.368 sistemas isolados com fontes intermitentes. Todas as instalações foram executadas por meio de SIGFIs (Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes), ou seja, utilizando microestações individuais geradoras de energia solar para cada unidade consumidora.

Para a Energisa, de acordo com o perfil da unidade consumidora, o SIGFI a ser instalado pode ter capacidade de 45, 80 ou 160 kW/mês. Os menores são para UCs que não contam com

eletrodomésticos e os maiores são destinados a escolas, postos de saúde e igrejas. Conforme a Resolução Normativa da ANEEL N° 1.000, de 7 de dezembro de 2021, os sistemas do tipo MIGDI e SIGFI devem garantir a disponibilização de energia da Tabela 6, por unidade consumidora e de acordo com o porte do sistema.

Tabela 6 – Disponibilidade a ser garantida por sistemas do tipo MIGDI e SIGFI.

Disponibilidade mensal garantida (kWh/ mês /UC)	Consumo de referência (Wh/dia/UC)	Potência mínima (W/UC)
45	1500	700
60	2000	1000
80	2650	1250
120	4000	1500
180	6000	1800

Fonte: ANEEL, 2021.

Nas visitas de levantamento socioeconômico realizadas pela Energisa, foi feita a caracterização da demanda de cada família. Esses dados permitiram o dimensionamento da potência do SIGFI a ser implantado (45, 80 ou 160 kW/mês) para cada UC, com base no consumo médio diário estipulado para cada família. Na Tabela 7 é possível verificar a quantidade de instalações realizadas por quantidade de potência mensal garantida.

Tabela 7 – Quantidade de instalações por tipo de SIGFI.

Tipo de SIGFI	Quantidade	%	Disponibilidade mensal garantida (kWh/ mês /UC)
SIGFI 160	13	0,95%	160
SIGFI 45	239	17,46%	45
SIGFI 80	1117	81,59%	80
Total Geral	1369	100,00%	

Fonte: Elaborado pelas autoras com base nos dados da Energisa e Intelbras, 2023.

De acordo com a tecnologia empregada no MLA pela empresa Energisa, para um sistema com capacidade de 80 kW/mês são utilizados 4 módulos fotovoltaicos, banco de baterias de íons de lítio, 1 inversor *Off Grid* e 1 controlador de carga. Além do SIGFI, a equipe também instala um kit iluminação interna com lustres, tomadas e lâmpadas LED. Com a capacidade para 80 kW/Mês, a UC pode usufruir de: 3 lâmpadas LED, 1 geladeira até 207 litros,

1 ventilador, 1 TV até 32”, rádio e carregadores de celular. Conforme a instalação de uma lâmpada em uma das moradias na Figura 17.

Figura 17 – Instalação de lâmpada em uma das moradias beneficiadas.



Fonte: Intelbras, 2023.

O lote 1 do Acre teve como resultado a instalação de 1369 SIGFIs com conclusão da execução em outubro/22 e investimento de R\$ 66 MI. Na Tabela 8 pode-se verificar a quantidade de cada tipo de SIGFI e a potência instalada em cada município. Com a instalação do SIGFI por meio do programa, as famílias beneficiadas não pagam pela instalação do sistema fotovoltaico, somente pelas contas mensais de energia, que seguem a tarifa social ou a tarifa para clientes rurais.

Tabela 8 – Potência instalada por município.

Municípios	SIGFI 160	SIGFI 45	SIGFI 80	Potência Instalada (kW)	Potência Instalada (MW)
ASSIS BRASIL	-	-	30	2400	2,4
CRUZEIRO DO SUL	1	30	168	14950	14,95
FEIJÓ	3	62	108	11910	11,91
JORDÃO	-	23	90	8235	8,235
MÂNCIO LIMA	-	3	81	6615	6,615
MARECHAL THAUMATURGO	7	52	304	27780	27,78
PORTO WALTER	-	16	17	2080	2,08
RODRIGUES ALVES	-	19	112	9815	9,815
SENA MADUREIRA	1	20	35	3860	3,86
TARAUACÁ	1	14	172	14550	14,55
Total Geral	13	239	1117	102195	102,195

Fonte: Elaborado pelas autoras com base nos dados da Energisa e Intelbras, 2023.

4.3 PROTÓTIPO DE UMA INSTALAÇÃO SIGFI

A fim de detalhar e exemplificar uma instalação SIGFI, foi dimensionado um protótipo de instalação para uma das comunidades que foi atendida no lote 1 do Acre do programa MLA. Para realizar o dimensionamento do protótipo de sistema fotovoltaico proposto, foi utilizado uma abordagem baseada em cálculos detalhados realizados em uma planilha do Microsoft Excel. Os cálculos foram realizados com base nas fórmulas e conhecimentos adquiridos durante o curso de graduação em Engenharia Elétrica.

4.3.1 Dados para o Dimensionamento do SIGFI

A residência para o qual foi dimensionado o protótipo está localizada no município de Porto Walter - AC, com localização geográfica de latitude -08.514152° e longitude -072.842202° . Como a residência não tinha acesso à energia elétrica anteriormente, foi estipulado uma demanda média mensal de energia de 80 kW/h e um consumo diário médio de 2650 Wh/dia.

Consultando o Atlas Solar Global, foram coletados os dados de irradiação solar média mensal para a localização geográfica da residência, onde a média de irradiação ficou com o total de 3653 kWh/m² e o menor valor mensal sendo de 2651 kWh/m².

Conforme indicação do fabricante Intelbras, os módulos fotovoltaicos indicados por eles para sistemas isolados são os de modelo EMS 330P - Módulo Fotovoltaico Policristalino 72 células 330 W. Os dados do módulo fotovoltaico EMS 330P estão descritos na Tabela 9.

Para as baterias, será utilizado a especificação da Bateria de Lítio 24V 100Ah UPLFP24-100 da marca Unipower, empresa parceira da Intelbras e Energisa. Os dados da bateria UPLFP24-100 estão descritos na Tabela 10.

O dimensionamento do controlador de carga e do banco de baterias será feito com a operação do sistema em 24V e a autonomia desejada para o banco de baterias de 36 horas/ 1,5 dias.

Tabela 9 – Especificações Técnicas Módulo Fotovoltaico EMS 330P.

Especificações Técnicas EMS 330P	
Potência de saída - P _{Max} [W]	330
Eficiência do módulo - η [-]	17,00%
Comprimento [m]	1,96
Largura [m]	0,992
Altura [m]	0,035
Tensão máxima de operação - V _{mpp} [V]	37,7
Corrente máxima de operação - I _{mm} [A]	8,76
Tensão de circuito aberto - V _{oc} [V]	45,9
Corrente de curto circuito - I _{sc} [A]	9,27
Coeficiente de temperatura da tensão de circuito aberto - V _{oc} [V]	0,31

Fonte: Intelbras, 2023.

Tabela 10 – Especificações Técnicas Bateria de Lítio 24V 100Ah UPLFP24-100.

Ficha Técnica Bateria de Lítio 24V 100Ah UPLFP24-100	
Modelo	UPLFP24-100
Tensão (V)	25,6
Capacidade C5 (Ah)	100
Energia C5 (Wh)	2560
Comprimento (mm)	520
Largura (mm)	269
Altura (mm)	208
Tipo Terminal	M8
Peso (kg)	31,9
Garantia (anos)	5

Fonte: Unipower, 2023.

4.3.2 Dimensionamento do SIGFI

No dimensionamento do sistema isolado foi utilizado uma planilha no Microsoft Excel para automatizar os cálculos, sendo ela projetada para considerar os dados específicos da localização da residência, as características dos equipamentos escolhidos e a demanda de energia da residência. A seguir será descrito o passo a passo seguido pelas autoras para o dimensionamento do sistema a partir da planilha. Na Tabela 13 e 14 é possível verificar o resumo dos cálculos e a planilha utilizada pode ser verificada no Anexo A deste documento.

4.3.2.1 Quantidade de módulos fotovoltaicos

A partir do menor valor mensal de irradiação para a localização, sendo de 2651 kWh/m² e da especificação técnica do módulo fotovoltaico, calculou-se o número de módulos necessários para garantir a potência desejada. Primeiramente, define-se a área de um módulo fotovoltaico, multiplicando sua largura [m] e altura [m], conforme a fórmula (1):

$$\text{Área} = l * h = 0,992 * 0,035 = 1,944 \text{ m}^2 \quad (1)$$

Para descobrir a energia produzida pelo painel diária - EP [kWh/dia], multiplica-se a área do módulo [m²] pela eficiência do módulo e pelo menor valor mensal de irradiação para a localização [kWh/m²/dia], conforme a fórmula (2):

$$EP = \text{área} * \eta * \text{irradiação} = 1,944 * 17\% * 2651 = 0,876 \text{ kWh/dia} \quad (2)$$

A energia produzida pelo painel mensal é igual a EP multiplicada por 30 dias que é igual a 26,287 kWh/mês. Para encontrar a quantidade de módulos fotovoltaicos necessários para o sistema é necessário dividir a demanda mensal necessária pela energia produzida pelo painel mensal, conforme a fórmula (3):

$$N_m = 80 \text{ kWh} / 26,287 \text{ kWh} = 3,043282997 \quad (3)$$

Para garantir a demanda mensal necessária, a quantidade de módulos é arredondada para cima, ou seja, para o protótipo serão necessários 4 módulos fotovoltaicos. Como foi arredondado para cima o número de módulos é necessário calcular a capacidade final de geração do sistema, multiplicando o número de módulos, 4, pela energia produzida por um painel mensal (26,287 kWh/mês), totalizando 105,1496 kWh/mês.

4.3.2.2 Dimensionamento do inversor

A escolha do inversor depende da potência máxima de pico da *string* [Wp], calculada a partir da multiplicação de número de módulos usados na *string* pela potência de saída de cada módulo - P_{Max} [W], conforme a fórmula (4):

$$P \text{ pico } string = N_m * P_{max} = 4 * 330 = 1320 \text{ Wp} \quad (4)$$

Com base na potência de pico da *string* foi selecionado o inversor de modelo ISV 1501 Inversor de Onda Senoidal Pura do fabricante Intelbras que possui uma potência máxima de saída de 1500 W e potência instantânea de pico de 3000 W. Na tabela 11 pode-se verificar a especificação técnica do inversor.

Tabela 11 – Especificações Técnicas Inversor ISV 1501.

Ficha Técnica Inversor IVS 1501	
Tensão nominal de entrada (Vcc)	24
Potência máxima (nominal) de saída (W)	1500
Potência instantânea de pico suportada (W)	3000
Tensão de saída (Vca)	127 ± 5%
Corrente máxima de entrada (A)	76
Corrente nominal de saída (A)	12,5
Frequência de saída (Hz)	60 ± 2
Eficiência Máxima (%)	90%

Fonte: Intelbras, 2023.

4.3.2.3 Dimensionamento do controlador de carga

O controlador de carga pode ser escolhido com base na corrente máxima de operação do sistema, calculada a partir da multiplicação de número de módulos usados no sistema pela Corrente máxima de operação - I_{mm} [A], conforme a fórmula (5):

$$I_{m\acute{a}x} = N_m * I_{mm} = 4 * 8,76 = 35,04 \text{ A} \quad (5)$$

A fim de dimensionar o sistema com segurança foi calculado uma sobra de 30 % no valor da corrente máxima de operação, portanto multiplicou-se 35,04 por 1,3, totalizando uma corrente máxima de operação de 45,55 A.

Como a tensão do sistema será de 24 V e possui uma corrente máxima de operação de 45,55 A, foi selecionado o controlador de carga de modelo ECM 6048 Controlador de Carga MPPT do fabricante Intelbras que possui uma máxima corrente de carregamento de bateria de 60 A. Na tabela 12 pode-se verificar a especificação técnica do controlador de carga.

Tabela 12 – Especificações Técnicas Controlador de Carga ECM 6048.

Ficha Técnica Controlador de Carga ECM 6048	
Máxima corrente de carregamento de bateria	60 A
Máxima corrente na saída de carga	20 A
Saída de carga	Não estabilizada, segue a tensão de carga / descarga da bateria
Potência nominal da saída de carga	240 W (sistema 12 V); 480 W (sistema 24 V); 720 W (sistema 36 V); 960 W (sistema 48 V);
Tensão do Sistema (Bateria)	Reconhecimento automático 12 V/24 V/36 V/48 V

Fonte: Intelbras, 2023.

4.3.2.4 Dimensionamento do banco de baterias

Conforme descrito anteriormente no item 4.3.1 a energia consumida diária estipulada é de 2650 Wh/dia, a autonomia desejada para a bateria é de 1,5 dias, a capacidade da bateria selecionada para o protótipo é de 100 Ah e a profundidade de descarga da bateria (DoD) é de 80%.

Para calcular a quantidade de baterias a compor o banco de baterias, é preciso saber a energia consumida, calculada a partir da multiplicação da energia consumida diária [Wh] pela autonomia desejada [dias], conforme a fórmula (6):

$$EC = ECD * Autonomia = 2650 * 1,5 = 3975 \text{ Wh/dia} \quad (6)$$

O próximo passo é calcular a energia armazenada no banco de baterias, calculada a partir da multiplicação de EC pelo DoD da bateria, conforme a fórmula (7):

$$EB_{\text{bateria}} = EC * DoD = 3975 * 0,8 = 4968,75 \text{ Wh} \quad (7)$$

Na sequência é necessário calcular a capacidade do banco de baterias, para isso divide-se energia armazenada no banco de baterias [Wh] pela tensão de operação do sistema [V], conforme a fórmula (8):

$$\text{Capacidade Banco} = EB_{\text{bateria}} / V_{op} = 4968,75 / 24 = 207,03 \text{ Ah} \quad (8)$$

Por último, para encontrar a quantidade de baterias necessárias para o banco é preciso dividir a capacidade do banco de baterias [Ah] pela capacidade da bateria selecionada [Ah], conforme a fórmula (9):

$$Nb = \text{Cap Banco} / \text{Cap Bateria} = 207,03 / 100 = 2,0703 \text{ unidades} \quad (9)$$

Para garantir a autonomia desejada, a quantidade de baterias é arredondada para cima, ou seja, para o protótipo serão necessárias 3 baterias.

Tabela 13 – Dados obtidos no dimensionamento do SIGFI (Módulo Fotovoltaico).

Dimensionamento do SIGFI	
Dimensionamento do painel	
Potência de saída - P _{Max} [W]	330,000
Eficiência do módulo - η [-]	17,000%
Área do módulo [m ²]	1,944
Energia produzida pelo painel diária - EP [kWh/dia]	0,876
Energia produzida pelo painel mensal - EP [kWh/mês]	26,287
Número de módulos	4
Capacidade final de geração [kWh/mês]	105,1496
Área total necessária para instalação [m ²]	7,777
Tensão máxima de operação - V _{mpp} [V]	37,7
Corrente máxima de operação - I _{mm} [A]	8,76
Tensão de circuito aberto - V _{oc} [V]	45,9
Corrente de curto circuito - I _{sc} [A]	9,27
Coeficiente de temperatura da tensão de circuito aberto - Voc	0,31
Tensão de circuito aberto da <i>string</i> - V _{oc string} [V]	150,8
Tensão de circuito aberto da <i>string</i> co F.S de 10 % - V _{oc string} (c/f.s) [V]	165,88
Variação da tensão [%]	3,1

Fonte: Elaborado pelas autoras, 2023.

Tabela 14 – Dados obtidos no dimensionamento do SIGFI (Inversor, Controlador de Carga e Banco de Baterias).

Dimensionamento do SIGFI	
Dados para seleção do Inversor	
Tensão de circuito aberto da <i>string</i> co F.S de 10 % - Voc <i>string</i> (c/f.s e variação de tensão) [V]	171,022
Potência máxima de pico da <i>string</i> [Wp]	1320
Dados para seleção do Controlador de Carga	
Tensão de operação do sistema [V]	24
Corrente máxima de operação sistema - [A]	35,04
Corrente máxima de operação com sobra 30% - [A]	45,55
Dados para dimensionamento Baterias	
Energia Consumida Diária estipulada [Wh/dia]	2650
Capacidade bateria [Ah]	100
Autonomia desejada (dias)	1,5
Profundidade de Descarga (DoD)	0,8
EC = Energia Consumida Diária*Autonomia [Wh/dia]	3975
Energia armazenada no banco de baterias [Wh]	4968,75
Capacidade do banco de baterias [Ah]	207,03
Número de baterias	3,00

Fonte: Elaborado pelas autoras, 2023.

4.4 RESULTADOS OBTIDOS

O principal objetivo desse primeiro tranche do projeto Mais Luz para Amazônia e Energisa, em parceria com a empresa Intelbras, foi o acesso à energia elétrica para mais de 30 comunidades que vivem em regiões isoladas de forma geográfica e energética no estado do Acre.

De acordo com Antonio Neto, Gerente de segmento de Energia Solar *Off Grid* da empresa Intelbras, foram instalados nessas comunidades mais de 3800 módulos fotovoltaicos e mais de 2600 baterias e aproximadamente 1360 inversores e controladores de carga para o alcance da potência instalada em cada município, conforme a demonstração de uma instalação na Figura 18.

Figura 18 – Sistema fotovoltaico instalado em uma das comunidades do Estado do Acre.



Fonte: Energisa, 2023.

O diretor-presidente da Energisa Acre, José Adriano, afirmou que “Nosso compromisso é levar energia de qualidade, limpa e segura para essas pessoas que hoje têm pouco ou nenhum acesso à eletricidade. Por meio da geração de energia solar, estamos contribuindo com a melhoria da qualidade de vida de milhares de acreanos” (José Adriano Mendes Silva, 2023).

Além de fornecer aos moradores uma energia limpa e renovável, sem o elevado custo quando comparado a utilização de geradores à óleo diesel, o projeto promoveu um desenvolvimento socioeconômico nessas regiões mais remotas, com a possibilidade de construções de mais unidades de serviços básicos, como postos de saúde e escolas, e também de geração própria de renda aos moradores com a disponibilidade de energia elétrica em todos os períodos do dia.

Para exemplificar um desses desenvolvimentos sociais das áreas remotas após a extensão do programa pelo estado, na Figura 19 é apresentada a instalação de painel fotovoltaico em uma das igrejas construídas nas comunidades.

Figura 19 – Sistema fotovoltaico instalado em uma igreja na comunidade.



Fonte: Intelbras, 2023.

Um dos moradores beneficiados pelo programa, Jaime Silva Pinheiro, informou que antigamente era necessário salgar os alimentos para a sua conservação e com as instalações realizadas em sua comunidade é possível armazenar os peixes pescados na região dentro de geladeiras.

A utilização desse e outros eletrodomésticos é essencial não somente para a conservação de alimentos de forma saudável, como também para o acesso a água fresca pelos moradores, visto que conforme uma moradora dessas comunidades relata, Luzia Quaresma, agora não é mais necessário tomar água quente no consumo diário.

Além da alimentação, o morador Jaime Silva citou que financeiramente também houve um grande benefício com o projeto, visto que com o investimento de R\$100,00 (cem reais) por semana em óleo diesel, o gerador funcionava apenas pelo período de no máximo 3 (três) horas por dia no abastecimento de 28 famílias.

Os moradores beneficiados pelo programa também citaram em uma das entrevistas concedidas para a imprensa que um outro grande diferencial no dia a dia são as televisões como uma fonte de conhecimento, educação e lazer dessas comunidades, devido ao isolamento social do qual residem.

Todos os recursos proporcionados às comunidades com o programa são ainda limitados, porém representam uma melhora significativa em diversos aspectos sociais e econômicos dos

mesmos. Além da melhoria na qualidade de vida e saúde, o programa impulsionou no aumento da economia das comunidades devido ao acesso à energia elétrica de forma mais barata e da diversificação das possibilidades para o aumento da renda de cada família, devido a disponibilidade de energia elétrica em qualquer período do dia e também do acesso às informações através de jornais, programas de TV e rádio.

Os moradores beneficiados demonstraram em geral total aprovação desde o início do projeto e nos depoimentos registrados nas reportagens evidencia-se uma satisfação positiva após a finalização do primeiro trache: “Algumas partes da nossa vida é nós que temos que se organizar para quando acontecer esses milagres, como aconteceu, a gente está padronizado, organizado para que nada dê errado” (Jaime Silva Pinheiro, 2023).

O acesso à energia elétrica de forma mais limpa e abundante nessas regiões do estado do Acre representou uma vida mais digna e saudável para os moradores. Com o alcance já citado de 1369 SIGFIs em outubro de 2022, as metas para os anos de 2023 e 2024 são de 2500 e 3500 SIGFIs respectivamente, totalizando no MLA Tranche 2, em torno de 11.000 novos SIGFIs instalados até 2024.

4.5 DESAFIOS SUPERADOS NA EXECUÇÃO DO PROJETO

Em estudo das principais barreiras à implantação de sistemas de microgeração de energia elétrica em comunidades remotas da Amazônia Legal, analisou-se as principais dificuldades encontradas pela concessionária Energisa na implantação do programa Mais Luz para Amazônia no lote 1 do estado do Acre.

Conforme divulgado pela Energisa em abril de 2023, as dificuldades encontradas na implantação do projeto de concretização da universalização do acesso à energia na Amazônia Legal, foram diversas e abrangentes, incluindo obstáculos logísticos, geográficos, culturais e ambientais. Na Figura 20 é possível verificar um exemplo da dificuldade encontrada pela equipe técnica para chegar até algumas residências localizadas ao longo do Rio Valparaíso.

Figura 20 – Dificuldade de locomoção da equipe técnica.



Fonte: Intelbras, 2023.

A implantação do projeto enfrentou uma série de desafios logísticos que se mostraram complexos e variados. Mesmo com a concepção de um sistema modular, projetado para ser o mais leve e portátil possível, a logística do transporte dos Sistemas de Geração de Energia com Fontes Isoladas (SIGFIs) até regiões de difícil acesso revelou-se uma tarefa árdua. A necessidade de alcançar locais remotos trouxe consigo a necessidade de colocar diversos modais de transporte em ação. De acordo com Energisa, em muitos casos, foi necessário alugar casas-barco para a equipe técnica de instalação, permitindo-lhes passar temporadas navegando pelos rios e instalando os equipamentos.

A localização das residências no coração da floresta impôs um desafio adicional, exigindo equipes experientes na navegação pelo território. O deslocamento até algumas casas e aldeias pode ser uma jornada de até 24 horas, combinando modos de transporte que variam de aviões a transporte terrestre, fluvial e, em alguns casos extremos, caminhadas pela densa vegetação da mata. Em muitas situações, as equipes de instalação precisaram transportar os equipamentos a pé, pois não havia como seguir e transportá-los de outra forma, como verifica-se na Figura 21.

Figura 21 – Equipe técnica transportando equipamento até o local de instalação.



Fonte: Intelbras, 2023.

A sazonalidade das chuvas também impactou a implantação do programa, afetando os padrões de seca e cheias dos rios e, conseqüentemente, o acesso a determinadas localidades, muitas das quais se tornaram intransitáveis em certos períodos do ano.

Segundo material disponibilizado pela Energisa em 2023, além das complexidades geográficas, o acesso às aldeias indígenas revelou-se outro desafio para a implantação do programa, exigindo negociações minuciosas com a coordenação regional da Fundação Nacional do Índio (FUNAI) e as lideranças de cada povo indígena. Como o processo envolveu barreiras culturais e linguísticas, para a continuidade das instalações nas aldeias indígenas, foi necessário respeitar os tempos e ritos locais, adicionando uma camada adicional de complexidade à implementação do projeto.

Para superar algumas das dificuldades de acesso às residências, foi alugado um barco-hotel para hospedar a equipe técnica, de modo a facilitar e possibilitar as primeiras instalações em algumas residências.

Diante dos desafios relatados pela empresa Energisa, torna-se evidente que a expansão do sistema elétrico nacional para as regiões remotas da Amazônia Legal enfrenta obstáculos

consideráveis. Isso se deve não apenas à dificuldade de transportar materiais e equipamentos de grande porte, mas também à complexidade da construção e manutenção da rede de distribuição elétrica em tais regiões.

Essa afirmação encontra respaldo no depoimento do gerente de construção e manutenção da Energisa Rondônia, para Alfredo “É praticamente impossível levar a rede elétrica tradicional até lá. A mata é fechada, são muitos rios, então, as placas fotovoltaicas eram a forma mais inteligente e eficiente.” (Alfredo João de Brito, 2023).

Apesar de todas as adversidades e dificuldades encontradas durante a implantação do programa, pode-se dizer que a execução do projeto Mais Luz para Amazônia - Acre lote 1, teve sucesso ao concluir 100% das instalações planejadas. Demonstrou resiliência e persistência ao superar inúmeras barreiras, destacando-se pela sua capacidade de adaptação a cenários adversos em prol do fornecimento de energia elétrica para as regiões remotas e de difícil acesso da Amazônia Legal.

5 CONCLUSÃO

A problemática abordada neste trabalho relata um dilema crucial nas comunidades remotas da Amazônia Legal: a falta de acesso à energia elétrica. Essa carência não é apenas um obstáculo para o desenvolvimento econômico, social e sustentável da região, mas também um desafio que afeta diretamente a qualidade de vida das pessoas que habitam essas comunidades.

Os objetivos deste trabalho centraram-se na análise de dois sistemas para o fornecimento de energia elétrica nas regiões isoladas da Amazônia Legal, a geração distribuída e os sistemas isolados de geração de energia, explorando principalmente a viabilidade dos sistemas isolados, notadamente os sistemas fotovoltaicos.

De acordo com o estudo realizado, conclui-se que a viabilidade da adoção de geração distribuída em regiões remotas da Amazônia Legal é significativamente inferior à alternativa de empregar sistemas autônomos de geração de energia com fontes intermitentes (SIGFI). Isso ocorre devido à complexidade para a extensão do sistema elétrico nacional, que envolve infraestrutura de grande porte, redes de transmissão e distribuição, além de enfrentar desafios consideráveis no transporte para tais localidades, em razão de barreiras geográficas, ambientais e culturais.

Com base no panorama social e elétrico atual das regiões isoladas da Amazônia Legal, os resultados obtidos apontam para uma série de benefícios associados à ampliação do acesso à energia elétrica, que vão muito além da mera disponibilidade de eletricidade.

A melhoria na qualidade de vida das comunidades, o aumento da renda, a elevação da economia regional, o acesso à informação e a possibilidade de refrigerar alimentos são apenas alguns dos benefícios a partir da eletrificação das áreas apresentadas neste trabalho, as comunidades isoladas do estado do Acre, pertencentes à Amazônia Legal. Além disso, a adoção de sistemas de geração de energia limpa, como os sistemas fotovoltaicos, contribui para a redução dos impactos socioambientais associados à geração elétrica à diesel.

O estudo nas comunidades do Acre, por meio do programa Mais Luz para Amazônia - Acre Lote Um, também identificou inúmeras dificuldades enfrentadas na implantação de projetos de sistemas isolados de geração de energia, desde desafios logísticos até barreiras culturais e geográficas. No entanto, é fundamental ressaltar que, mesmo diante dessas adversidades, programas governamentais, como o projeto Mais Luz para Amazônia, vêm demonstrando eficácia e sucesso em sua execução. Os sistemas isolados de geração de energia, como o SIGFI, oferecem uma solução viável e eficaz para a superação desses desafios.

Diante dos resultados obtidos após a finalização do primeiro tranche do projeto no Acre, pode-se concluir que é fundamental a existência das políticas públicas e programas governamentais que visam levar energia elétrica a essas áreas isoladas da Amazônia Legal, como o programa apresentado neste trabalho que teve a execução pela concessionária Energisa em parceria com a empresa Intelbras.

Ao fornecer uma fonte de energia limpa e acessível, esses programas não apenas capacitam essas comunidades, mas também promovem o desenvolvimento sustentável da região e a melhoria da vida de seus moradores. Portanto, é de extrema importância a atuação, manutenção e incentivo dessas políticas públicas e programas governamentais na eletrificação das regiões isoladas pertencentes à Amazônia Legal.

Para continuar a evolução de estudos sobre o tema, em trabalhos futuros poderiam ser estudados os tipos de sistemas de coleta de dados operacionais (SCD) atuais e desenvolver um sistema de coleta com um custo-benefício viável e capaz de diminuir os custos do projeto de geração de energia do tipo MIGDI.

Visto que sistemas isolados do tipo MIGDI (Microsistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica) são uma solução alternativa para a geração de energia elétrica nessas regiões isoladas da Amazônia Legal, além de possuírem uma performance melhor em locais com mais de uma residência quando comparado aos sistemas implementados do tipo SIGFI. Os microsistemas isolados não são preferíveis na utilização dos projetos de geração isolada de energia elétrica pois necessitam da implementação de um Sistema de Coleta de Dados Operacionais (SCD) e dessa forma necessitam de um investimento maior pelo fato do SCD ter um custo relevante na implantação do projeto.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, DF, 2012. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 10 abril 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº 1000, de 17 de março de 2021. Estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica de forma atualizada e consolidada. Brasília, DF, 2021. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.pdf>. Acesso em: 08 mar. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Sistemas Isolados e com Fontes Intermitentes. Brasília, DF, [s.d.]. Disponível em: [https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/distribuicao/sistemas-isolados-e-com-fontes-intermitentes#:~:text=A%20Resolu%C3%A7%C3%A3o%20Normativa%20n%C2%BA%201.000,com%20Fonte%20Intermitente%20\(SIGFI\)](https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/distribuicao/sistemas-isolados-e-com-fontes-intermitentes#:~:text=A%20Resolu%C3%A7%C3%A3o%20Normativa%20n%C2%BA%201.000,com%20Fonte%20Intermitente%20(SIGFI)). Acesso em: 8 mar. 2023.

Amazônia tem mais de 425 mil famílias sem energia elétrica. Amazônia, 2022. Disponível em: <https://amazonia.org.br/2022/05/amazonia-tem-mais-de-425-mil-familias-sem-energia-eletrica/>. Acesso em: 5 abr. 2023.

Aprenda como funciona o mapa de insolação no Brasil. Solarvolt Energia. Disponível em: <https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/mapa-de-insolacao/>. Acesso em: 1 out. 2023.

ARAÚJO, Cinthia F. **Impactos da Educação Ambiental nas Atividades de Pesca na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, Amazonas, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Sustentabilidade na Amazônia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2019. Disponível em: https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/6158/5/Disserta%c3%a7%c3%a3o_Cinthia%20F.%20Ara%c3%baajo.pdf. Acesso em: 9 mar. 2023.

Até 12 milhões de equipamentos de sistemas fotovoltaicos precisam ser instalados na Amazônia Legal para quem está sem acesso público à energia elétrica, diz IEMA. Energia e Ambiente, 04 de maio de 2023. Disponível em: <https://energiaeambiente.org.br/ate-12-milhoes-de-equipamentos-de-sistemas-fotovoltaicos-precisam-ser-instalados-na-amazonia-legal-para-quem-esta-sem-acesso-publico-a-energia-eletrica-diz-iema-20230504>. Acesso em: 17 set. 2023.

Balanco Energético Nacional Interativo. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-interativo>. Acesso em: 27 mar. 2023.

Bateria de Lítio 24V 100Ah – UPLFP24-100. UniPower. Disponível em: <https://unipower.com.br/produto/bateria-de-litio-24v-100ah-uplfp24-100/>. Acesso em: 1 out. 2023.

BRASIL. Decreto nº 7.246, de 28 de julho de 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/D7246.htm. Acesso em: 18 set. 2023.

BRASIL. Decreto nº 11.059, de 22 de setembro de 2022. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2022/Decreto/D11059.htm. Acesso em: 28 set. 2023.

BRASIL. Lei nº 14.300, de 28 de dezembro de 2021. Dispõe sobre o Orçamento Geral da União para o exercício financeiro de 2022. Brasília, DF, 2021. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/114300.htm. Acesso em: 13 mar. 2023.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Energia Elétrica. Programa de Eletrificação Rural. Brasília, DF, [s.d.]. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/energia-eletrica/copy2_of_programa-de-eletrificacao-rural. Acesso em: 8 mar. 2023.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. Atlas do potencial eólico brasileiro. 2. ed. Brasília: MME, EPE, 2013. Disponível em: http://www.observatoriodaenergiaeolica.ufc.br/wp-content/uploads/2019/07/NovoAtlasdoPotencialEolico_BrasileiroSIM_2013-compressed.pdf. Acesso em: 12 abril 2023.

BRASIL. Portaria Normativa nº 59, GM/MME, de 26 de dezembro de 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-normativa-n-59/gm/mme-de-26-de-dezembro-de-2022-453834331>. Acesso em: 28 set. 2023.

Capacidade instalada de geração solar cresce e atinge 18 GW. Ministério Minas e Energia, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/capacidade-instalada-de-geracao-solar-cresce-e-atinge-18-gw>. Acesso em: 27 mar. 2023.

Com energia solar, comunidades isoladas na Amazônia ganham acesso a água, educação e saúde. Energias Roraima, 2021. Disponível em: <https://energiasroraima.com.br/com-energia-solar-comunidades-isoladas-na-amazonia-ganham-acesso-a-agua-educacao-e-saude/>. Acesso em: 22 mar. 2023.

Controlador de Carga MPPT Off Grid. Intelbras. Disponível em: <https://www.intelbras.com/pt-br/controlador-de-carga-mppt-off-grid-ecm-6048>. Acesso em: 1 out. 2023.

Cresesb - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>. Acesso em: 24 set. 2023.

DI LASCIO, Marco Alfredo; BARRETO, E. J. Fagundes. **Energia e Desenvolvimento Sustentável para a Amazônia Rural Brasileira**: Eletrificação de Comunidades Isoladas. 1. ed. Brasília: Kaco Gráfica e Editora Ltda, 2009. Disponível em: https://agritrop.cirad.fr/567794/1/solucoes_energeticas_para_a_amazonia.pdf. Acesso em: 09 mar. 2023.

Dimensionamento Solar Fotovoltaico. Sunlab Power, 2020. Disponível em: http://www.sunlab.com.br/Dimensionamento_solar_fotovoltaico.htm. Acesso em: 1 out. 2023.

ELETROBRAS. **Guia Técnico para Atendimento com Sistemas de Geração Fotovoltaica no âmbito dos Programas Luz para Todos e Mais Luz para a Amazônia**. Brasília, DF, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/destaques/Programa%20Luz%20para%20Todos/normativos/arquivos/GuiaTcnicoparaAtendimentocomGeraoFotovotaicaPLpT.pdf>. Acesso em: 27 abril 2023.

EMBRAPA. **Uso da biomassa para geração de energia**. 1. ed. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/155329/1/Doc-211.pdf>. Acesso em: 13 abril 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Planejamento do Atendimento aos Sistemas Isolados Horizonte 2023-2027 - Ciclo 2022**. 2022. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-713/EPE-NT-Planejamento%20SI-Ciclo_2022_r0.pdf#search=isolado. Acesso em: 17 set. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Planejamento de Sistemas de Informação - Ciclo 2022**. Rio de Janeiro: EPE, 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-713/EPE-NT-Planejamento%20SI-Ciclo_2022_r0.pdf. Acesso em: 27 mar. 2023.

Energia renovável chega a quase 50% da matriz elétrica brasileira. Ministério de Minas e Energia, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/08/energia-renovavel-chega-a-quase-50-da-matriz-eletrica-brasileira>. Acesso em: 27 mar. 2023.

Energia solar: o que é, para que serve, como funciona e benefícios. Portal Solar. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-solar>. Acesso em: 21 abril 2023.

Energia solar para a eletrificação de áreas isoladas da Amazônia. Canal Solar. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/energia-solar-para-a-eletrificacao-de-areas-isoladas-da-amazonia/>. Acesso em: 22 mar. 2023.

Energia solar se torna 2ª maior fonte da matriz elétrica brasileira em 2023. NE9. Disponível em: <https://www.ne9.com.br/energia-solar-se-torna-2a-maior-fonte-da-matriz-eletrica-brasileira-em-2023/>. Acesso em: 21 abril 2023.

ENERGISA. **Descarbonização da Amazônia Legal**: Como o grupo Energisa vem contribuindo para endereçar os desafios de descarbonização e de universalização do acesso à energia na região. 2023. Disponível em: <https://www.grupoenergisa.com.br/sites/default/files/2023-06/book-descarbonizacao-mme-2023.pdf>. Acesso em: 17 set. 2023.

ENERGISA. **Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente – SIGFI**. 2022. Disponível em:

<https://www.energisa.com.br/Documents/Normas%20t%C3%A9cnicas/NDU%20028%20-%20Sistema%20Individual%20de%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%20com%20Fonte%20Intermitente%20%E2%80%93%20SIGFI.pdf>. Acesso em: 17 set. 2023.

Entenda as diferenças entre GD compartilhada, remota, condominial e junto à carga. Portal Solar. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/entenda-as-diferencas-entre-gd-compartilhada-remota-condominial-e-junto-a-carga>. Acesso em: 21 mar. 2023.

Exclusão elétrica na Amazônia Legal: quem ainda está sem acesso à energia elétrica? São Paulo: IEMA, 2021. Disponível em: <http://energiaeambiente.org.br/produto/exclusao-eletrica-na-amazonia-legal-quem-ainda-esta-sem-acesso-a-energia-eletrica>. Acesso em: 5 abril 2023.

FERREIRA, Danúsia Arantes. **Políticas públicas em geração distribuída de energia: desenvolvimento sustentável da Amazônia Legal**. Disponível em: <http://energif.mec.gov.br/images/materiais/abgd.pdf>. Acesso em: 22 abril 2023.

Florestas energéticas: potencial da biomassa dedicada no Brasil. São Paulo: IEMA, 2018. Disponível em: <http://energiaeambiente.org.br/produto/florestas-energeticas-potencial-da-biomassa-dedicada-no-brasil>. Acesso em: 13 abril 2023.

Geração. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/relatorios-e-indicadores/geracao>. Acesso em: 08 mar. 2023.

Geração Distribuída. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), [Ano de publicação, se disponível]. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>. Acesso em: 08 mar. 2023.

Geração distribuída da ANEEL: entenda como funciona e suas vantagens. Blog Bluesol, 2019. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/geracao-distribuida-da-aneel/>. Acesso em: 13 mar. 2023.

Geração distribuída de energia: o que é e como funciona? Ecycle. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/geracao-distribuida/>. Acesso em: 13 mar. 2023.

Geração Distribuída de Energia. Portal Solar. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/geracao-distribuida-de-energia.html>. Acesso em: 13 mar. 2023.

Geração e o Uso da Energia Fotovoltaica em Comunidade Isolada no Estado do Amazonas, Com a Abordagem do Ciclo de Vida. 2015. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste, 2015. Disponível em: https://iepapp.unimep.br/biblioteca_digital/pdfs/docs/13052016_153752_andrejunmiki_ok.pdf. Acesso em: 16 mar. 2023.

Geração própria no Amazonas ultrapassa 100 MW de potência. EPBR, 2023. Disponível em: <https://epbr.com.br/geracao-propria-no-amazonas-ultrapassa-100-mw-de-potencia/>. Acesso em: 27 abril 2023.

Global Solar Atlas. Disponível em: <https://globalsolaratlas.info/detail?s=-8.514152,-72.842202&m=site&c=-8.514152,-72.842202,10>. Acesso em: 24 set. 2023.

GREYCI, Girardi. Geração Distribuída de Energia: o que é e como funciona? Blog Way2, 8 ago. 2019. Disponível em: <https://www.way2.com.br/blog/geracao-distribuida/>. Acesso em: 21 mar. 2023.

HONÓRIO DE MELO, Otávio Augusto Malheiros. Análise da viabilidade econômico-financeira da energia fotovoltaica: uma aplicação da microgeração distribuída no nordeste brasileiro. 2018. p. 135. Dissertação (Mestrado em Gestão pública para o desenvolvimento do Nordeste) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/32381/1/DISSERTA%c3%c3o%20Ot%c3a%20%20io%20Augusto%20Malheiros%20Hon%c3%b3rio%20de%20Melo.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2023.

Instituto Interamericano De Cooperação Para A Agricultura (IICA) (coord.). **Universalização de Acesso e Uso da Energia Elétrica no Meio Rural Brasileiro**: Lições do Programa Luz para Todos. Brasília: IICA, 2011. Disponível em: <http://repiica.iica.int/docs/B2112p/B2112p.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2023.

Inversor solar Off Grid 1500 W Onda Senoidal Pura. Intelbras. Disponível em: <https://www.intelbras.com/pt-br/inversor-solar-off-grid-1500-w-onda-senoidal-pura-isv-1501>. Acesso em: 1 out. 2023.

IONOVA, Ana. *In the Brazilian Amazon, solar energy brings light and new opportunities*. Mongabay, 4 jan. 2022. Disponível em: <https://news.mongabay.com/2022/01/in-the-brazilian-amazon-solar-energy-brings-light-and-new-opportunities/>. Acesso em: 26 abril 2023.

Lei 14.300: como ela muda as regras para micro e minigeradores de energia? Ecycle. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/lei-14300/>. Acesso em: 13 mar. 2023.

Leilão de Compra de Energia Elétrica Proveniente de Novos Empreendimentos de Geração - Infoleilão Dinâmico nº 059/2023. CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica), 2023. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/pt/web/guest/-/infoleilao-dinamico-059-fev-2023>. Acesso em: 27 mar. 2023.

Ministério de Minas e Energia. Decreto nº 11.110, de 29 de junho de 2022. Estabelece para o processo de desestatização da Empresa Gestora de Ativos S.A. - Emgea, o marco temporal para o início da contagem do prazo de que trata o caput do art. 3º do Decreto nº 9.598, de 29 de novembro de 2018. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 jun. 2022. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/destaques/Programa%20Luz%20para%20Todos/normativos/arquivos/MME_DecretoN11.11de29dejunho2022.pdf. Acesso em: 27 abril 2023.

Ministério de Minas e Energia. Especificações Técnicas. [Online]. Brasília, DF. Disponível em: https://www.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/especificacoes_tecnicas.pdf. Acesso em: 10 set. 2023.

Matriz energética brasileira e matriz elétrica brasileira. Portal Solar. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/matriz-energetica-brasileira-matriz-eletrica-brasileira>. Acesso em: 27 mar. 2023.

Matriz energética e elétrica. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 27 mar. 2023.

Módulo Fotovoltaico EMS-330P. Intelbras. Disponível em: <https://www.intelbras.com/pt-br/modulo-fotovoltaico-ems-330p-ems-330-p>. Acesso em: 1 out. 2023.

MOREIRA, José Roberto Simões. **Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2023.

PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; GONÇALVES, André Rodrigues; COSTA, Rodrigo Santos; LIMA, Francisco J. Lopes de; RUTHER, Ricardo; ABREU, Samuel Luna de; TIEPOLO, Gerson Máximo; PEREIRA, Silvia Vitorino; SOUZA, Jefferson Gonçalves de. Atlas Brasileiro de Energia Solar. Brasília: MME, 2017. 2.ed. --São José dos Campos: INPE, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/servicos/obter-dados-do-atlas-brasileiro-de-energia-solar-atlas-solar>. Acesso em: 21 abril 2023.

PEREIRA, Reuler Cardoso. **Políticas Públicas para expansão da energia solar fotovoltaica**: um estudo dos principais programas de incentivo da tecnologia no Brasil. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Itumbiara, 2019. Disponível em: https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/268/4/tcc_reuler%20pereira.pdf. Acesso em: 26 abril 2023.

PEREIRA, Osvaldo Soliano; RUTHER, Ricardo. Energia Solar Fotovoltaica. **Revista Brasileira de Energia**, v. 27, n. 3, 3º Trimestre de 2021 - Edição Especial. Disponível em: <https://sbpe.org.br/index.php/rbe/article/view/642/474>. Acesso em: 10 set. 2023.

Programa Luz para Todos. Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/destaques/Programa%20Luz%20para%20Todos>. Acesso em: 15 mar. 2023.

Programa Mais Luz para a Amazônia chega à marca de 44 mil pessoas beneficiadas. Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2022/12/programa-mais-luz-para-a-amazonia-chega-a-marca-de-44-mil-pessoas-beneficiadas>. Acesso em: 13 mar. 2023.

REIS, Lineu Belico dos. **Geração de energia elétrica**. 3. ed. Barueri: Manole, 2017.

SAUAIA, Rodrigo Lopes. Energia Solar Fotovoltaica: Panorama, oportunidades e desafios. Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica, 2017. Disponível em: https://sitefiespstorage.blob.core.windows.net/uploads/2017/09/rodrigo_6899.pdf. Acesso em: 9 mar. 2023.

SILVA, Alcidio; VELEDA, Vinícius Vieira Wonghon. **Análise técnica e econômica da implementação da microgeração fotovoltaica para sistemas elétricos de pequenas**

propriedades rurais. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Elétrica) - Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2021. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/18914/5/TCC%20Alcidio%20e%20Vinicius%20Final.pdf>. Acesso em: 9 mar. 2023.

SILVA, Camila Correa. **Análise de viabilidade de implementação da energia solar fotovoltaica em comunidades isoladas: um estudo de caso.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção) - Faculdade do Vale do Cricaré, São Mateus, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ivc.br/bitstream/handle/123456789/338/TCC%20-%20CAMILA%20-%20ENG%20PRODU%20c3%87%c3%83O.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 9 mar. 2023.

Sistemas Isolados e Com Fontes Intermitentes. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/distribuicao/sistemas-isolados-e-com-fontes-intermitentes>. Acesso em: 28 set. 2023.

Sistemas Isolados no Brasil: Como 06 é igual a R\$ 1,2 bilhões. EPBR, 2023. Disponível em: <https://epbr.com.br/sistemas-isolados-no-brasil-como-06-e-igual-a-r-12-bilhoes/>. Acesso em: 18 set. 2023.

Sobre o SIN - Sistemas Isolados. Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/sistemas-isolados>. Acesso em: 18 set. 2023.

Soluções Sustentáveis da Intelbras Levam Energia Solar a Comunidades da Amazônia Legal. Intelbras, 2023. Disponível em: <https://www.intelbras.com/pt-br/noticia/solucoes-sustentaveis-da-intelbras-levam-energia-solar-a-comunidades-da-amazonia-legal>. Acesso em: 17 set. 2023.

Soluções Sustentáveis da Intelbras Levam Energia Solar a Comunidades da Amazônia Legal. NSC, 2023. Disponível em: <https://www.nsctotal.com.br/noticias/solucoes-sustentaveis-da-intelbras-levam-energia-solar-a-comunidades-da-amazonia-legal>. Acesso em: 16 out. 2023.

Tudo o que você precisa saber sobre a irradiação solar no Brasil. eCycle. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/irradiacao-solar-brasil/>. Acesso em: 21 abril 2023.

Um milhão estão sem energia elétrica na Amazônia. Energia e ambiente, 2019. Disponível em: <http://energiaeambiente.org.br/um-milhao-estao-sem-energia-eletrica-na-amazonia-20191125>. Acesso em: 5 abril 2023.

WWF-Brasil. **Energia Solar em comunidades isoladas - Estudo de caso em Resex na Amazônia Legal.** 2022. Disponível em: https://wwfbrnew.awsassets.panda.org/downloads/estudo_de_caso_em_resex_na_amazonia_1egal_1.pdf. Acesso em: 17 set. 2023.

ANEXO A – Planilha Dimensionamento Protótipo

A		B	C	D	E	F	G	H	I
1	Consumo de energia (kWh)		Radiação (kWh/m²/dia)			Dados para seleção do Controlador de Carga			
2	Abril de 2023	80,00	Abril	3,496	Potência de saída - P _{Max} [W]	330,000	Tensão de operação do sistema [V]		
3	Março de 2023	80,00	Março	2,855	Eficiência do módulo - η [-]	17,000%	Corrente máxima de operação sistema - [A]		
4	Fevereiro de 2023	80,00	Fevereiro	2,651	Dimensões do painel		Corrente máxima de operação com sobre 30% - [A]		
5	Janeiro de 2023	80,00	Janeiro	2,994	Comprimento [m]	1,96	Dados para dimensionamento Baterias		
6	Dezembro de 2022	80,00	Dezembro	2,975	Largura [m]	0,992	Energia Consumida Diária estipulada [Wh/dia]		
7	Novembro de 2022	80,00	Novembro	3,476	Altura [m]	0,035	Capacidade bateria [Ah]		
8	Outubro de 2022	80,00	Outubro	3,852	Área [m²]	1,944	Autonomia desejada (dias)		
9	Setembro de 2022	80,00	Setembro	3,745	Energia produzida pelo painel diária - EP [kWh/dia]	0,876	Profundidade de Descarga (DoD)		
10	Agosto de 2022	80,00	Agosto	4,323	Energia produzida pelo painel mensal - EP [kWh/mês]	26,287	EC = Energia Consumida Diária * Autonomia [Wh/dia]		
11	Julho de 2022	80,00	Julho	4,974	Número de módulos	4	Energia armazenada no banco de baterias [Wh]		
12	Junho de 2022	80,00	Junho	4,44	Capacidade final de geração [kWh/mês]	105,1496	Capacidade do banco de baterias [Ah]		
13	Maio de 2022	80,00	Maio	4,049	Área total necessária para instalação [m²]	7,777	Número de baterias		
14	Consumo médio	80,00	Médio	3,653	Tensão máxima de operação - V _{mpp} [V]	37,7			
15	Disponibilidade residencial bifásico [kWh]	0,00	Menor valor	2,651	Corrente máxima de operação - I _{mm} [A]	8,76			
16	Energia necessária módulos [kWh]	80,00			Tensão de circuito aberto - Voc [V]	45,9			
17					Corrente de curto circuito - Isc [A]	9,27			
18	Dados Iniciais - Input				Coefficiente de temperatura da tensão de circuito aberto - Voc	0,31			
19	Dados Calculados - Formulas				Tensão de circuito aberto da string - Voc string [V]	150,8			
20					Tensão de circuito aberto da string co F.S de 10 % - Voc string (c/f.s) [V]	165,88			
21					Variação da tensão [%]	3,11			
22					Dados para seleção do Inversor				
23					Tensão de circuito aberto da string co F.S de 10 % - Voc string (c/f.s e variação de tensão) [V]	171,022			
24					Potência máxima de pico do string [Wp]	1320			
25									