

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ELETRICIDADE

ALICE AMAZONAS LIMA  
Orientador: Prof. Dr. Alessandro Bezerra Trindade

**USO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E DE BIODIGESTOR NA  
COMUNIDADE TRÊS UNIDOS: ESTUDO DE CASO**

Manaus, AM  
2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ELETRICIDADE

ALICE AMAZONAS LIMA

**USO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E DE BIODIGESTOR NA  
COMUNIDADE TRÊS UNIDOS: ESTUDO DE CASO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica Eletrotécnica da Universidade Federal do Amazonas como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica Eletrotécnica.

**Orientador:** Prof. Dr. Alessandro Bezerra Trindade

Manaus, AM  
2022

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

L732u Lima, Alice Amazonas  
Uso de energia solar fotovoltaica e de biodigestor na comunidade  
Três Unidos: estudo de caso / Alice Amazonas Lima . 2022  
68 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Alessandro Bezerra Trindade  
TCC de Graduação (Engenharia Elétrica - Eletrotécnica) -  
Universidade Federal do Amazonas.

1. Geração de energia renovável. 2. Sistemas fotovoltaicos. 3.  
Biodigestor. 4. Comunidades isoladas. I. Trindade, Alessandro  
Bezerra. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

*Aos meus pais Leomara Amazonas e Valmir Lima.*

*Minhas irmãs Ana Maria e Mariana.*

*Ao meu companheiro Alan Tácio.*

# Agradecimentos

Agradeço aos meus pais, irmãs e companheiro, que sempre estiveram ao meu lado me apoiando durante os anos de curso, me incentivaram nos momentos difíceis e nos momentos que precisava dedicar à realização deste trabalho.

Ao professor Alessandro Trindade, por ter sido meu orientador e ter participado do processo de formação profissional e acadêmica no curso.

Aos professores do Departamento de Eletricidade, principalmente professora Cristiane de Freitas por todos os ensinamentos e ajudas nas aulas que guiaram o meu aprendizado.

Aos amigos de curso, pela amizade e pelo apoio ao longo de todo o período de tempo em que me dediquei a este trabalho.

"Eu não devo ter medo. Medo é o assassino da mente. Medo é a pequena morte que leva à aniquilação total. Eu enfrentarei meu medo. Permitirei que passe por cima e me atravesse. E, quando tiver passado, voltarei o olho interior para ver seu rastro. Onde o medo não estiver mais, nada haverá. Somente eu permanecerei".

(Frank Herbert)

# Resumo

O direito de todo cidadão de ter acesso ao sistema de energia elétrica é garantido pela legislação brasileira. Para contornar o problema da falta de acesso foram criados pelo governo federal programas de eletrificação para conectar as famílias à rede elétrica. O principal projeto, intitulado Programa Luz para Todos, atendeu desde sua criação mais de dois milhões de famílias por meio da extensão do sistema elétrico de potência. Porém, ainda possuem milhares de residências para serem atendidas, principalmente nas áreas rurais e comunidades na Amazônia, devido a impossibilidade de conexão pela distância dos centros urbanos, o que inviabiliza o acesso aos serviços essenciais como educação e saúde de qualidade. Além disso, as comunidades isoladas possuem como opção para este cenário a geração a diesel para eletricidade e uso de lenha e de carvão para preparação de alimentos, fortalecendo o uso de recursos não renováveis que prejudicam o meio ambiente e elevam os gastos da renda familiar. Visando apresentar uma solução que garanta eletricidade para residência em áreas isoladas, com o intuito de propiciar melhor qualidade de vida e fomentar o uso de energias renováveis, o presente estudo de caso tem como objetivo relatar a implementação de um sistema solar fotovoltaico para geração de energia elétrica e um sistema de biogás para gerar gás de cozinha em uma residência da comunidade Três Unidos. Situada na área rural de Manaus, o estudo leva em consideração as características dos recursos presentes na comunidade isolada, aliando ao desenvolvimento sustentável. Para atender aos objetivos, o método baseia-se no estudo do desenvolvimento de microrredes híbridas utilizando energia solar com biomassa para comunidades da Amazônia e leitura bibliográfica dos sistemas implementados e seus componentes, relato das visitas de campo realizadas e questionário aplicado ao morador. Desse modo, a partir do estudo proposto, identifica-se que o uso de soluções renováveis em residências de comunidades rurais se apresenta como solução para os problemas de falta de eletrificação e custos no gás de cozinha devido a viabilidade do projeto pela localização (para energia solar) e recursos naturais (para biodigestor), contribuindo no impacto positivo ao acesso aos serviços essenciais e desenvolvimento de regiões isoladas.

**Palavras-chave:** Geração de energia renovável; Sistemas fotovoltaicos. Biodigestor; Comunidades isoladas.

# Abstract

The right of every citizen to have access to the electricity system is guaranteed by Brazilian legislation. To overcome the problem of lack of access, electrification programs were created by the federal government to connect families to the electricity grid. The main project, entitled Programa Luz para Todos, has served more than two million families since its creation through the extension of the electrical grid system. However, it still have thousands of homes to be served, mainly in rural areas and communities in the Amazon, due to the impossibility of connecting by distance from urban centers, which makes access to essential services such as quality education and health unfeasible. In addition, isolated communities have as an option for this scenario diesel generation for electricity and the use of firewood and charcoal for food preparation, strengthening the use of non-renewable resources that harm the environment and raise family income expenses. Aiming to present a solution that guarantees electricity for residence in isolated areas, in order to provide a better quality of life and promote the use of renewable energies, the present case study aims to report the implementation of a photovoltaic solar system for energy generation electricity and a biogas system to generate cooking gas in a residence in the Três Unidos community, located in the rural area of Manaus, taking into account the characteristics of the resources present in the isolated community, allied to sustainable development. To meet the objectives, the method is based on the study of the development of hybrid microgrids using solar energy with biomass for communities in the Amazon and bibliographic reading of the implemented systems and their components, report of field visits carried out, and questionnaire applied to the resident. In this way, the study concludes that the use of renewable solutions in homes in rural communities presents itself as a solution to the problems of lack of electrification and costs of cooking gas due to the feasibility of the project due to the location (for solar energy) and natural resources (for biodigester), contributing to the positive impact on access to essential services and development of isolated regions.

**Keywords:** Renewable energy generation; Photovoltaic systems.; Biodigester; Isolated communities.

# Lista de Ilustrações

Figura 1 – Geração de Energia Elétrica por Fonte no Brasil em 2020. . . . .	18
Figura 2 – Tabela com emissões de gases no Sistema Interligado Nacional. . . . .	19
Figura 3 – Mapa dos brasileiros que vivem sem eletricidade na Amazônia. . . . .	19
Figura 4 – Representação dos tipos de radiação solar. . . . .	21
Figura 5 – Mapa da irradiação global no Brasil. . . . .	22
Figura 6 – Representação do experimento realizado por Edmond Becquerel. . . . .	23
Figura 7 – Painel solar fotovoltaico. . . . .	24
Figura 8 – Controlador de carga solar. . . . .	25
Figura 9 – Operação do sistema com e sem MPPT. . . . .	26
Figura 10 – Inversor de frequência. . . . .	26
Figura 11 – Bateria solar de íon de lítio. . . . .	27
Figura 12 – Configuração de um biodigestor. . . . .	30
Figura 13 – Localização da Comunidade Três Unidos e Manaus. . . . .	36
Figura 14 – Área de atuação da FAS no Amazonas. . . . .	37
Figura 15 – Mapas de irradiação da comunidade Três Unidos. . . . .	39
Figura 16 – Gráfico da Irradiação Normal Direta . . . . .	39
Figura 17 – Especificações do painel fotovoltaico utilizado no projeto . . . . .	40
Figura 18 – Estimativa para curva de carga da moradia. . . . .	41
Figura 19 – Dados da fabricante para bateria de lítio UPLFP48. . . . .	43
Figura 20 – Inversor com controlador integrado MPPT. . . . .	45
Figura 21 – Componentes do sistema solar fotovoltaico aplicado. . . . .	45
Figura 22 – Representação do funcionamento do biodigestor. . . . .	46
Figura 23 – Representação da montagem e uso do biodigestor. . . . .	47
Figura 24 – Local escolhido para instalação do Biodigestor. . . . .	48
Figura 25 – Instalação do conjunto da pia e saída de gás. . . . .	48
Figura 26 – Pacotes de areia sendo preenchidos para inserir no sistema. . . . .	49
Figura 27 – Sistema do biodigestor com pacotes de areia. . . . .	49
Figura 28 – Sistema de drenagem e tubo de gás para cozinha. . . . .	50
Figura 29 – Alimentação de resíduos para ativação do sistema. . . . .	50
Figura 30 – Painéis fotovoltaicos instalados na base. . . . .	51
Figura 31 – String Box do Sistema Fotovoltaico. . . . .	51
Figura 32 – Inversor com controlador, quadros e baterias conectados. . . . .	52
Figura 33 – Sistema Fotovoltaico funcionando sem baterias. . . . .	53
Figura 34 – Fogão do HomeBiogás em funcionamento. . . . .	53
Figura 35 – Funcionamento do inversor com dados de geração solar. . . . .	56
Figura 36 – Sistema de biogás em funcionamento. . . . .	59

Figura 37 – Medidor de gás do sistema do biodigestor. . . . . 60

# Lista de Tabelas

Tabela 1 – Pesquisadores do projeto Hybrid Microgrid. . . . .	32
Tabela 2 – Dados do mapa solarimétrico da comunidade Três Unidos. . . . .	38
Tabela 3 – Dados do fabricante do painel necessários para cálculo . . . . .	40
Tabela 4 – Estimativa do consumo diário dos aparelhos eletrodomésticos e lâmpadas. . . . .	41
Tabela 5 – Valores de potência total dos aparelhos e de consumo mensal. . . . .	42
Tabela 6 – Dados de uso do biodigestor durante mês de maio. . . . .	58
Tabela 7 – Dados de uso do biodigestor durante mês de junho. . . . .	58
Tabela 8 – Dados de uso do biodigestor durante mês de julho. . . . .	58

# Lista de Abreviaturas e Siglas

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanco Energético Nacional
DPS	Dispositivo de Proteção contra Surto
ECO92	Conferências das Nações Unidas no Rio de Janeiro
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FAS	Fundação Amazônia Sustentável
GEE	Gases de Efeito Estufa
GPAER	Grupo de Pesquisa Aplicada em Energias Renováveis
MPPT	Maximum Power Point Tracking
MME	Ministério de Minas e Energia
PWM	Pulse Width Modulation
UFAM	Universidade Federal do Amazonas
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
WWF	Fundo Mundial para a Natureza

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>15</b>
1.1	Justificativa	16
1.2	Objetivos	16
1.2.1	Objetivo Geral	16
1.2.2	Objetivos Específicos	16
1.3	Organização do Trabalho	17
<b>2</b>	<b>Revisão Bibliográfica</b>	<b>18</b>
2.1	Panorama do Setor Energético	18
2.2	Energias Renováveis	19
2.3	Energia Solar	20
2.3.1	Panorama da Energia Solar no Brasil	20
2.3.2	Radiação Solar	20
2.4	Sistemas Fotovoltaicos	22
2.4.1	Efeito Fotovoltaico	23
2.4.2	Painel Fotovoltaico	23
2.4.3	Controlador de carga	24
2.4.4	Inversor de frequência	26
2.4.5	Sistemas de Bateria	27
2.4.6	Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos <i>Off-grid</i>	28
2.5	Biomassa e Biogás	29
2.6	Biodigestor	29
2.6.1	Funcionamento do biodigestor	30
<b>3</b>	<b>Desenvolvimento</b>	<b>31</b>
3.1	Metodologia	31
3.2	Projeto <i>Hybrid Microgrid</i>	31
3.2.1	Microrredes híbridas com bioenergia e solar fotovoltaica para eletrificação rural em Mipindiaú	33
3.2.2	Etapas básicas do Projeto de Microrredes em Mipindiaú	33
3.2.3	Desenvolvimento do Projeto de Microrrede Híbrida	33
3.2.4	Componentes do Projeto de Microrrede Híbrida	34
3.2.5	Resultados e conclusões da Microrrede Híbrida	34
3.3	Projeto de Energia Solar e Biodigestor em Três Unidos	36
3.3.1	FAS - Fundação Amazônia Sustentável	37
3.3.2	Projeto do Sistema Solar Fotovoltaico	37
3.3.2.1	Aplicação do sistema fotovoltaico isolado	38
3.3.2.2	Dimensionamento do sistema fotovoltaico	38

3.3.2.3	Levantamento do consumo de energia do sistema fotovoltaico	40
3.3.2.4	Quantidade de painéis fotovoltaicos . . . . .	42
3.3.2.5	Dimensionamento do banco de baterias . . . . .	42
3.3.2.6	Controlador de carga e inversor . . . . .	44
3.3.2.7	Componentes do sistema solar fotovoltaico . . . . .	44
3.3.3	Projeto do Sistema de Biogás . . . . .	45
3.3.4	Instalação dos sistemas solar e biodigestor em moradia de Três Unidos .	47
<b>4</b>	<b>Resultados</b> . . . . .	<b>54</b>
4.1	Descrição da comunidade Três Unidos e casa atendida pelo projeto . . . . .	54
4.2	Descrição do projeto do sistema solar fotovoltaico . . . . .	54
4.3	Descrição do projeto do sistema de biogás . . . . .	55
4.4	Geração e consumo de energia solar fotovoltaica . . . . .	56
4.5	Uso de biomassa e geração de gás . . . . .	57
4.6	Impacto da solução para os moradores . . . . .	60
<b>5</b>	<b>Considerações Finais</b> . . . . .	<b>63</b>
5.1	Conclusão . . . . .	63
5.2	Trabalhos Futuros . . . . .	64
	<b>Referências</b> . . . . .	<b>65</b>
	<b>Anexos</b>	<b>67</b>
	<b>ANEXO A Questionário para morador</b> . . . . .	<b>68</b>

# 1 Introdução

O fornecimento de energia elétrica é um serviço essencial de responsabilidade do poder público e o cidadão tem o direito ao acesso estabelecido através da Lei de universalização dos serviços públicos de energia elétrica, regulamentados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Com o objetivo de atender a inclusão das famílias de áreas rurais de baixa renda aos serviços de distribuição de energia, em 2003 foi criado o programa social Luz Para Todos para intensificar a eletrificação rural (RIBEIRO, 2009).

O Programa Luz Para Todos visa o atendimento de localidades isoladas através de três opções: extensão da rede convencional; geração descentralizada com redes isoladas, ou sistemas de geração individuais (ELETROBRAS, 2017). De acordo com pesquisa feita pelo ONS (2020), existem 212 localidades isoladas no país e a maioria encontra-se na região Norte, onde o consumo representa menos de 1% da carga total e a demanda por energia é suprimida, principalmente, por térmicas a óleo diesel. Esses locais, que não são atendidos pela rede convencional, situam-se em áreas remotas de difícil acesso, afastadas dos grandes centros urbanos.

De acordo com Junior, Pereira e Lira (2021), o uso de sistemas fotovoltaicos para a geração de eletricidade em localidades isoladas é apresentado como alternativa promissora comparada a outras fontes de geração por ser uma energia limpa e renovável, o que caracteriza impacto ambiental reduzido ao praticamente não originar resíduos ou emissões de poluentes, além de ser considerada inesgotável para os padrões humanos de utilização. Sua vantagem consiste na instalação simples e manutenção mínima, porém, possui alto custo de aquisição e níveis baixos de rendimento dos equipamentos.

Segundo Villalva (2012), a energia solar fotovoltaica é a fonte alternativa que mais tem recebido atenção no mundo e é muito adequada para a instalação em qualquer local onde tenha grande incidência de luz. Isso porque o efeito fotovoltaico consiste na conversão direta da radiação solar em energia elétrica, onde a corrente elétrica produzida é coletada e processada por dispositivos controladores e conversores, podendo ser armazenada em baterias (sistema *off-grid*) ou conectado à rede elétrica (*on-grid*).

Outra fonte de energia que pode ser empregada em localidades isoladas é a da biomassa. Neste processo, a energia é obtida a partir da queima de compostos orgânicos de origem animal ou vegetal. Os combustíveis fósseis são uma forma de biomassa não renovável, por outro lado, a biomassa renovável é constituída de compostos orgânicos, sobretudo de vegetais, madeira e dejetos agrícolas (VILLALVA, 2012). O biogás pode ser produzido artificialmente com o equipamento denominado biodigestor, uma tecnologia para produção de energia a partir de esterco animal e resíduos alimentares. Para o caso em questão, objetiva-se o uso do biogás como gás de cozinha através da biomassa (BARBOSA; LANGER, 2011).

Portanto, ao implantar o uso do sistema solar fotovoltaico para a geração de energia elétrica e o uso de biodigestor para o uso de gás de cozinha na comunidade Três Unidos, área rural de Manaus, é notória a importância do estudo de caso para apresentar o desenvolvimento do projeto, a relação da geração e consumo de energia dos moradores e demonstrar o impacto da solução para a comunidade.

## 1.1 Justificativa

No Brasil, ainda é elevado o número de famílias sem acesso a luz elétrica devido a distância dos centros urbanos. Nas regiões isoladas do norte do país, o acesso ao direito de energia elétrica pode ser garantido e se tornar economicamente viável por meio de sistemas solares fotovoltaicos, devido sua facilidade de implementação, manutenção e custos se comparado à implementação de linhas de transmissão até as comunidades (IMHOFF, 2007).

De forma complementar, o biodigestor é uma tecnologia de produção de biogás que se torna alternativa ao uso do gás de cozinha, tendo em vista que seu alto custo pode comprometer a renda familiar. Outra questão está relacionada com a capacidade do biodigestor contribuir para a redução da emissão de gases do efeito estufa, pois por meio do processo de biodigestão, os gases são direcionados para uso doméstico (SOUZA, 2020).

Portanto, a implementação dos sistemas fotovoltaico e de biodigestor tem como relevância o avanço do uso de energias renováveis que segundo Barbosa e Langer (2011) "é uma alternativa tecnológica capaz de reduzir problemas ambientais e de contribuir para a estabilização dos níveis de consumo dos recursos naturais e solucionar o problema de abastecimento energético mundial."

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo Geral

Fazer o relato do estudo de caso da comunidade Três Unidos, na Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS) Puranga Conquista, área rural de Manaus, quanto a implantação e uso de um sistema solar fotovoltaico de 3,3 Wp e quanto a implantação e uso do biodigestor modelo HomeBiogás 7.0 para gerar gás de cozinha.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Descrever a comunidade e a casa atendida;
- Descrever o projeto do sistema solar fotovoltaico;
- Descrever o projeto do sistema de biogás;

- Relatar a geração e consumo de energia solar fotovoltaica;
- Relatar o uso de biomassa e a geração de gás;
- Descrever o impacto da solução para os moradores.

### 1.3 Organização do Trabalho

O trabalho foi dividido em capítulos e organizado com a seguinte estrutura:

**Capítulo 1:** Introdução e contexto do trabalho, juntamente com a justificativa e importância do tema e objetivos que se buscam alcançar.

**Capítulo 2:** Revisão Bibliográfica, contendo os conceitos e componentes básicos para análise e implementação de sistema fotovoltaico off-grid e uso de biodigestor para geração energética.

**Capítulo 3:** Principais ideias sobre o tema obtidos através do estudo e coleta de dados do sistema implementado na comunidade Três unidos, metodologia utilizada e apresentação dos objetivos alcançados.

**Capítulo 4:** Resultados e discussões acerca do estudo de caso realizado.

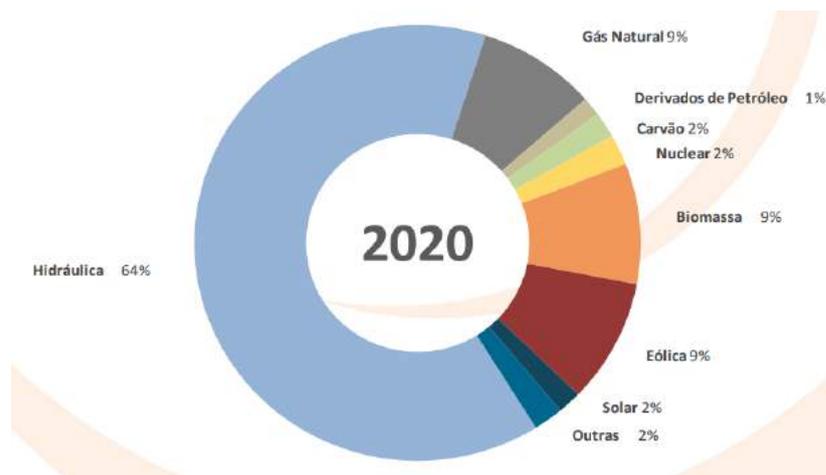
**Capítulo 5:** Conclusão e considerações finais e sugestões de trabalhos futuros.

## 2 Revisão Bibliográfica

### 2.1 Panorama do Setor Energético

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), entre os anos de 2019 e 2020, a capacidade de geração de eletricidade no Brasil aumentou em 2,7% tendo como principal recurso o uso da energia hidráulica. Porém, como resultado da crescente utilização de diferentes fontes de energias renováveis, a maior expansão proporcional ocorreu no uso de geração solar, que teve na potência instalada um aumento de 32,9% em relação ao ano de 2019, após aumento de 37,6% em relação ao ano anterior. Os dados referentes à geração elétrica por fonte, no ano de 2020, podem ser observados na Figura 1.

Figura 1 – Geração de Energia Elétrica por Fonte no Brasil em 2020.



Fonte: Balanço Energético Nacional; Elaboração: EPE

Segundo dados da EPE (2021), em 2020, foram produzidos 621 TWh de eletricidade, correspondendo a uma queda de 0,8% entre 2019 e 2020, com as maiores quedas percentuais na geração térmica a carvão (-22,1%), a gás natural (-11,1%) e nuclear (-12,9%). A maior parte das fontes apresentou queda no período, com exceção dos derivados de petróleo (+9,1%), biomassa (+6,7%), eólica (+1,9%) e solar (+61,1%), o que ocasionou aumento de participação de todas essas fontes na matriz de geração elétrica nacional.

Como pode ser observado na Figura 2, com relação às emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) provenientes da geração elétrica no Brasil, houve redução de 10,7%, com destaque para o gás natural (-5,5%) e carvão (-22,4%). No entanto, a maior redução foi no Sistema Isolado, cuja queda em 2020 foi de 39,1% em relação ao ano anterior, devido à redução das emissões oriundas da geração a óleo diesel (-15,5%) e da diminuição do uso das termelétricas a gás natural (-95,2%) (EPE, 2021).



(2011), a sustentabilidade envolve três diretrizes: a econômica, buscando o desenvolvimento duradouro; a ambiental ou ecológica, com o desenvolvimento em equilíbrio com os sistemas naturais; e a social, com distribuição justa dos rendimentos e serviços fornecidos pela economia. Como a energia é a base para o desenvolvimento, é necessário buscar novas fontes energéticas que reduzam os problemas, como energia solar e biomassa.

O planejamento formulado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), com o apoio da EPE, estabelece como meta alcançar a participação de 46,6% de fontes renováveis na oferta de energia em 2030. De acordo com a FGV (2016), embora esse objetivo esteja em quantidade inferior das necessidades de redução mundial do uso de combustíveis fósseis, não é uma meta fácil de ser atingida e envolve dificuldades que precisarão ser enfrentadas com clareza, pois a hidreletricidade também começa a enfrentar limites em sua expansão.

## 2.3 Energia Solar

### 2.3.1 Panorama da Energia Solar no Brasil

A energia solar pode ser convertida diretamente em energia elétrica por meio da aplicação de dispositivos semicondutores que realizam a conversão através do efeito fotovoltaico. Segundo Pinho e Galdino (2014), devido a busca incessante por fontes renováveis de energia e a melhora significativa dos materiais empregados na fabricação de células fotovoltaicas, a utilização da energia solar como geração de eletricidade vêm largamente crescendo nos últimos anos.

A matriz energética do Brasil é composta em sua maioria pela hidrelétrica e quando o país passa pelos períodos de seca, é necessário ativar usinas termelétricas, movidas a óleo, gás, carvão e outros materiais, o que elevam os custos de geração e o grau de poluição. Esses fatores aumentam o valor da fatura de energia elétrica, pois o governo adota a cobrança de taxas extras chamadas de bandeiras tarifárias amarela e vermelha, fazendo com que os consumidores paguem mais pela energia elétrica (ULIANA, 2018).

Segundo Antunes (2021), a Lei 10.438 de 26 de abril de 2002, é uma medida de grande importância em favor da proteção ambiental e sustentabilidade da matriz energética. A lei estabelece sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial e cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica. Tendo como objetivo fomentar a utilização de fontes energéticas como a eólica, solar fotovoltaica, biomassa e pequena central hidrelétrica à rede interligada.

### 2.3.2 Radiação Solar

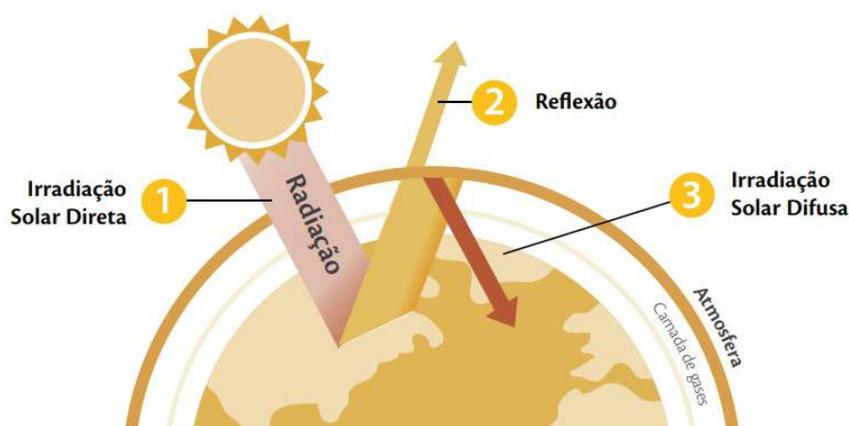
A radiação solar é a transferência de energia proveniente das reações de fusão ocorridas no sol, que é irradiada para todas as direções e não precisa de material para ser transmitida, chegando até o planeta através de ondas eletromagnéticas (VILLALVA, 2012).

Segundo a [Beatriz et al. \(2011\)](#), devido às flutuações climáticas, a radiação solar incidente no limite superior da atmosfera sofre uma série de reflexões, dispersões e absorções durante o seu percurso até o solo. A incidência total da radiação solar sobre um corpo localizado no solo é a soma dos componentes direta e difusa. Com isso, a radiação pode ser classificada como:

- Irradiação difusa – irradiância difusa integrada durante um intervalo de solar (I ou H) – irradiância solar integrada durante um intervalo de tempo especificado, normalmente uma hora ou um dia, medida em watt hora por metro quadrado ou Joule por metro quadrado (Wh/m<sup>2</sup> ou J/m<sup>2</sup>). É simbolizada por “I”, quando integrada em uma hora; “H”, quando integrada em um dia.
- Irradiação difusa – irradiância difusa integrada durante um intervalo de tempo especificado.
- Irradiação direta – irradiância direta integrada durante um intervalo de tempo especificado.
- Irradiação global – irradiância global integrada durante um intervalo de tempo especificado.
- Irradiação total – irradiância total integrada durante um intervalo de tempo especificado.

Ao incidir em nosso planeta, a radiação solar é afetada pelas camadas da nossa atmosfera, sofrendo alterações até chegar na superfície terrestre. De acordo com [Villalva \(2012\)](#), a radiação direta é definida como os raios solares que incidem em linha reta em um determinado plano horizontal, já a radiação difusa representa os raios solares que chegam indiretamente ao plano (em solo), sendo o resultado da difração na atmosfera e da reflexão da luz em alguns objetos como poeira e as nuvens, como pode ser observado na Figura 4.

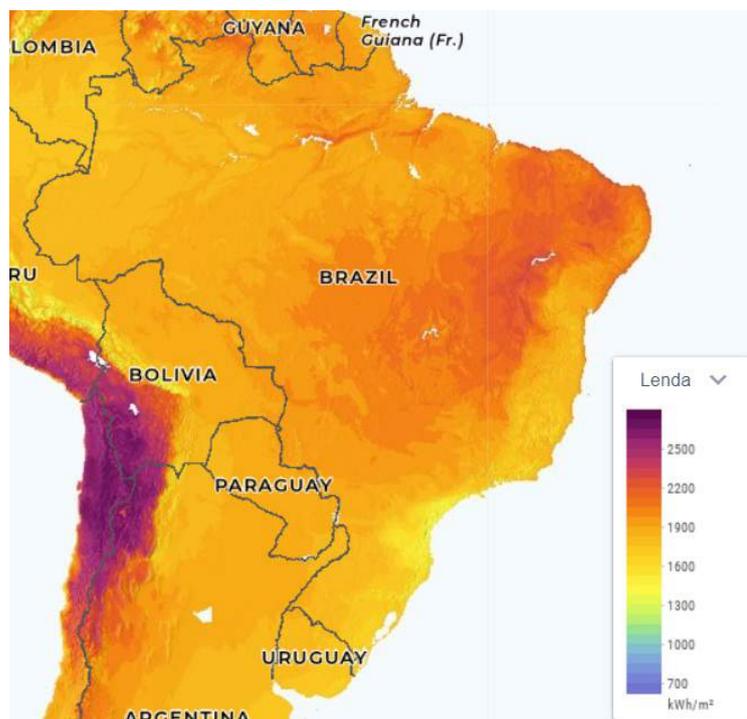
Figura 4 – Representação dos tipos de radiação solar.



Fonte: Livro Digital - Energia Solar

Segundo [Beatriz et al. \(2011\)](#), a irradiância global é uma informação muito relevante para o planejamento regional do setor elétrico pois permite aplicar os mesmos princípios metodológicos do uso da energia solar em diferentes áreas. A Figura 5 apresenta um mapa com a média da irradiância global no território brasileiro.

Figura 5 – Mapa da irradiação global no Brasil.



Fonte: Atlas Solar Global

Atualmente é realizado o uso de informações de satélites para trabalhar sobre o potencial de energia solar. Porém, é importante destacar que os resultados dos satélites apresentam diferenças significativas em relação aos estudos sobre a superfície terrestre. Os satélites não sofrem a influência de processos atmosféricos e são capazes de medir apenas a irradiação no topo da atmosfera (PINHO; GALDINO, 2014).

## 2.4 Sistemas Fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos utilizam células, módulos e arranjos em que o efeito fotovoltaico gera eletricidade diretamente. Os equipamentos fotovoltaicos oferecem diversas vantagens porque são imóveis, silenciosos e não apresentam depleção de materiais. Segundo Pinho e Galdino (2014), os sistemas solares são singelos e não apresentam peças mecânicas móveis, o que exige pouca manutenção, reduz os prazos de instalação e gera confiabilidade em seus equipamentos. Seus projetos podem ser muito variados porque sistemas solares são modulares, permitindo adequações de produção desde mW até MW.

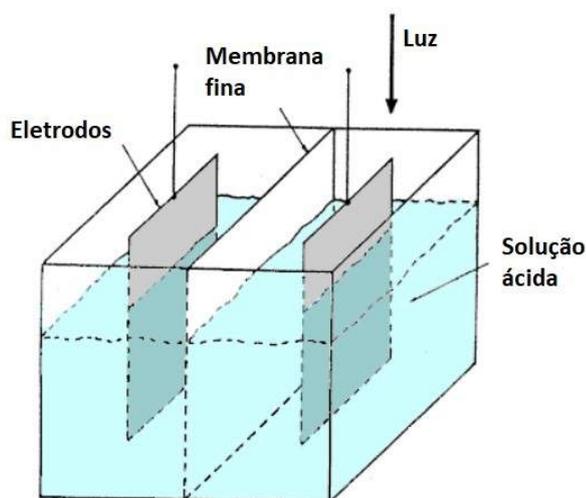
Inicialmente a tecnologia de produção de energia elétrica fotovoltaica foi utilizada em áreas rurais remotas onde os sistemas centralizados de abastecimento deste serviço não estavam presentes. Posteriormente, nas mais diversas regiões do mundo, as células fotovoltaicas passaram também a ser utilizadas no abastecimento de energia elétrica de clínicas de saúde, além dos sistemas de refrigeração, do bombeamento de água e das telecomunicações. Sua importância atual é claramente perceptível através da constatação de que a indústria de módulos fotovoltaicos

apresenta um crescimento anual de 25% (PINHO; GALDINO, 2014).

### 2.4.1 Efeito Fotovoltaico

A utilização do recurso solar para produção direta de eletricidade teve início em 1839 quando o cientista francês Edmond Becquerel descobriu o efeito fotovoltaico ao observar em um experimento com uma célula eletrolítica que a produção de eletricidade era aumentada quando exposta à luz do sol (PINHO et al., 2008). A representação do experimento pode ser observado na Figura 6.

Figura 6 – Representação do experimento realizado por Edmond Becquerel.



Fonte: GPAER – Grupo de Pesquisa Aplicada em Energias Renováveis

Na Figura 6, o experimento apresenta cloreto de prata imerso em solução ácida que gera corrente quando iluminada. A conversão da radiação em eletricidade é realizada por meio de um dispositivo conhecido como célula fotovoltaica que o princípio do efeito fotoelétrico ou fotovoltaico (IMHOFF, 2007). De acordo com Severino e Oliveira (2010), o efeito fotovoltaico ocasiona uma diferença de potencial na estrutura do material semicondutor, porém, a célula não é capaz de armazenar energia, pois apenas mantém um fluxo de elétrons num circuito elétrico enquanto houver incidência de luz.

### 2.4.2 Painel Fotovoltaico

O painel fotovoltaico para sistemas isolados é projetado para fornecer tensões entre 12 e 48 volts, sendo as tensões de 12 V e 24 V as mais comuns, enquanto a tensão de 48 Volts é aplicada em sistemas maiores. O painel foi desenvolvido para fornecer o potencial elétrico para um dia médio de uso. A energia será armazenada em baterias ou aproveitada imediatamente, no caso dos sistemas fotovoltaicos sem armazenamento (PINHO; GALDINO, 2014).

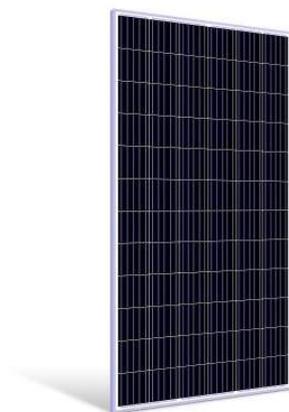
As células fotovoltaicas possuem duas camadas de material semicondutor, um material que não é considerado condutor nem isolante e suas propriedades são alteradas quando envolvidos

com outros materiais. Composta por uma camada de material do tipo P, falta de elétrons, e outra camada do tipo N, excesso de elétrons, segundo Villalva (2012). Quando expostas a luz os elétrons da camada N fluem para a camada P e criam um campo elétrico em uma zona conhecida como barreira de potencial, com tensão de aproximadamente 0,6 V (VILLALVA, 2012). As células que envolvem tecnologias cristalinas mais comuns são monocristalinas e policristalinas.

De acordo com Kalogirou (2009), “as células de silícios monocristalino são produzidas de silício quase que sem defeitos e impurezas, possuem elevada eficiência, na ordem de 14-15%”. Já as células que utilizam o silício policristalino, ou multicristalino, possuem eficiência parecida com a do monocristalino, entretanto levam vantagem devido ao seu valor, que é reflexo do seu menor custo de produção.

Os módulos fotovoltaicos são construídos a partir da associação das células fotovoltaicas, a quantidade de células agrupadas representa a tensão e a potência que o módulo pode prover. A potência dos módulos fotovoltaicos é expressa em Watt-pico (Wp), e varia de acordo com a temperatura do ambiente alocado. Vale frisar que resumidamente as células compõem os módulos. A interligação de um conjunto de módulos compõe um arranjo FV que também pode ser chamada de String. (VILLALVA, 2012). Na Figura 7 abaixo pode ser observado o módulo solar.

Figura 7 – Painel solar fotovoltaico.



Fonte: Neosol

Os módulos podem ser conectados em associação série e/ou paralelo, com finalidade de ajustar a tensão ou corrente desejada, formando assim painéis fotovoltaicos com potências mais elevadas (PINHO; GALDINO, 2014). A associação dos módulos e sua tensão e corrente resultante, deve ser compatível com a instalação, e equipamentos constituintes do sistema.

### 2.4.3 Controlador de carga

O controlador de carga é um equipamento utilizado em sistemas fotovoltaicos, basicamente, para proteger as baterias e garantir uma vida útil maior para as mesmas. É necessário pois a bateria é um equipamento crítico no sistema e responsável pela maior parte das despesas

que se tem com um sistema fotovoltaico após sua instalação. O controlador de carga protege a bateria das descargas profundas e também do carregamento excessivo que provoca aumentos de temperatura (PINHO; GALDINO, 2014).

Figura 8 – Controlador de carga solar.



Fonte: Neosolar

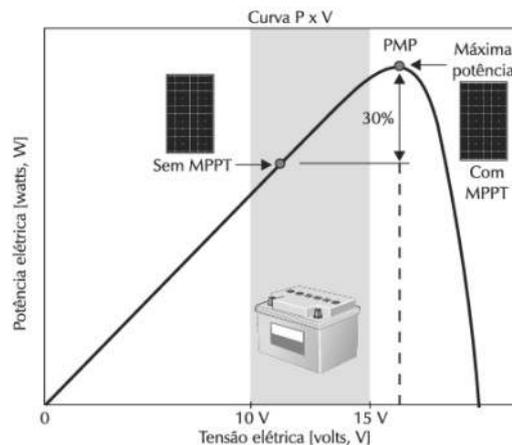
A conexão dos consumidores deve ser feita ao controlador, pois assim, controlador mantém um controle sobre a profundidade de descarga da bateria, interrompendo o fornecimento caso o nível fique muito baixo e possa danificá-la permanentemente. Esses aparelhos são especificados de acordo com sua corrente máxima, são encontrados na faixa de 10A a 60A, modelos com maior capacidade são incomuns (VILLALVA, 2012).

O mercado fornece diferentes tipos de controladores de carga, com grandes variações de função e preço, sendo as opções mais comuns os modelos PWM (Pulse Width Modulation) e MPPT (Maximum Power Point Tracking). Segundo Oliveira (2019), a escolha desses aparelhos vai de acordo com o projeto, seguindo algumas características: chaveamento eletrônico, proteção contra inversão de polaridade e desconexão da carga para proteger a bateria de usos excessivos.

O controlador MPPT garante que o valor máximo de potência é extraído dos módulos fotovoltaicos. Segundo Oliveira (2019), o sistema realiza uma varredura na curva  $I \times V$  do sistema de geração e determina a tensão de operação em que o sistema vai operar em máxima potência.

Apesar de os controladores MPPT terem um custo maior, são vantajosos pois permitem um ganho de 30% na produção de energia. Os outros controladores operam com valores de tensão próximos aos da bateria, entre 10V e 15V (VILLALVA, 2012). Na Figura 9 é possível ver a ganho do controlador MPPT.

Figura 9 – Operação do sistema com e sem MPPT.



Fonte: Energia Solar - Marcelo Villalva

#### 2.4.4 Inversor de frequência

O inversor é um dispositivo eletrônico que fornece energia elétrica em corrente alternada a partir de uma fonte de energia elétrica em corrente contínua. Esta energia pode ser obtida através dos módulos fotovoltaicos, e a tensão alternada de saída possui amplitude, frequência e harmônico adequados as cargas a serem alimentados, este tipo de configuração somente aplicada em sistemas autônomos (VILLALVA, 2012).

Sua utilização se deve ao fato de que muitos equipamentos consumidores de energia existentes no mercado, principalmente eletrodomésticos, estão disponíveis apenas em corrente alternada e geralmente estão na faixa de 127 V e 220 V. Segundo Pinho e Galdino (2014), o mercado ainda não disponibiliza em corrente contínua toda a gama de equipamentos que podem ser usados em sistemas fotovoltaicos, principalmente os televisores, os videocassetes e as antenas parabólicas. O inversor está representado na Figura 10.

Figura 10 – Inversor de frequência.



Fonte: Canal Solar

Com isso, a função do inversor é transformar a energia elétrica contínua das baterias em energia elétrica alternada adequada para os consumidores. O inversor trabalha com tensões de entrada de 12, 24, 48 ou 120 Vcc e converte para 120 V ou 240 V na frequência de 50 ou 60 Hz. A especificação técnica de cada tipo de inversor dependerá da capacidade de geração das placas fotovoltaicas e dos tipos de consumidores (SEVERINO; OLIVEIRA, 2010).

### 2.4.5 Sistemas de Bateria

De acordo com Pinho e Galdino (2014), como resposta às características de variabilidade da radiação solar, a eletricidade produzida pelos módulos fotovoltaicos apresenta níveis variáveis dependendo das condições de insolação. Durante a noite não ocorre geração, e no início da manhã e no final da tarde os níveis de energia elétrica gerados são baixos, ocorrendo o mesmo nos dias nublados. Por outro lado, no horário próximo ao meio-dia, a geração de energia alcança nível máximo.

A maioria das aplicações de sistemas isolados necessita que a energia elétrica esteja disponível durante todo o dia, principalmente à noite, para iluminação. O armazenamento da energia elétrica contínua gerada pelos módulos é normalmente realizado através de acumuladores ou baterias. Nestes equipamentos a energia elétrica é armazenada sob a forma de energia química (PIRES; SANTOS, 2017).

Figura 11 – Bateria solar de íon de lítio.



Fonte: NeoSolar

As baterias mais utilizadas em sistemas fotovoltaicos são as seladas e as de descargas profundas. Existem baterias especificamente projetadas para sistemas fotovoltaicos que levam em conta as características próprias desse tipo de aplicação, portanto, deve-se evitar o uso de baterias automotivas comuns utilizadas em veículos (PINHO; GALDINO, 2014).

Em geral, as baterias são classificadas em primárias e secundárias. No primeiro caso, são descartadas após os reagentes que produzem energia elétrica se esgotarem pois não são recarregáveis. As secundárias, utilizada em sistemas fotovoltaicos é aplicada uma corrente

elétrica nos terminais da bateria para que se possa reverter as reações da geração de energia e carregar novamente (BRASIL, 2018).

Os tipos mais comuns de bateria são as de chumbo-ácido, íons de lítio e níquel-cádmio. Dentre elas, por apresentar menor custo, as baterias de chumbo-ácido são as mais utilizadas no mercado. Apesar do menor preço, as baterias de chumbo-ácido geram maiores custos para aplicações a longo prazo, por conta do baixo número de ciclos de carga e descarga garantidos pelo fabricante, necessitando da troca após curto período de utilização (VASCONCELOS, 2022).

Por outro lado, as baterias de íons de lítio apresentam vantagens como a alta densidade energética, capacidade de suportar altas taxas de carga e descarga, baixo tempo de carga e baixa taxa de autodescarga, de acordo com Pinho e Galdino (2014). O principal uso de baterias de lítio aplicado em energias renováveis ocorre nos sistemas solares *off-grid*, devido instalações em localidades sem conexão às redes elétricas; substituição das baterias de chumbo e a necessidade de estabilização da rede por baterias para corrigir oscilações e interrupções de energia (MORAIS, 2020).

#### 2.4.6 Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos *Off-grid*

Os sistemas fotovoltaicos autônomos, também chamados de sistemas *off-grid* são sistemas que não estão ligados à rede elétrica, e portanto operam de forma independente. Neste tipo de sistemas, o custo de produção de energia é mais caro que o sistema ligado à rede, portanto, a aplicação é limitada para lugares onde a rede elétrica não consegue chegar ou que fique muito caro a instalação de cabos de energia da concessionária (CARI, 2020).

Para realizar o projeto de um sistema fotovoltaico autônomo é necessário seguir os seguintes passos:

- Levantamento do consumo de energia elétrica;
- Dimensionamento da configuração dos módulos fotovoltaicos;
- Dimensionamento do banco de baterias;
- Dimensionamento do inversor;
- Dimensionamento do controlador de carga.

Com o intuito de realizar o dimensionamento do sistema fotovoltaico é necessário conhecer a tensão de operação da carga e realizar um levantamento dos equipamentos que serão ligados no sistema. Com relação ao dimensionamento dos módulos fotovoltaicos, é necessário multiplicar a potência necessária pela quantidade de horas em que existe radiação solar. Para o dimensionamento das baterias, é importante que as baterias tenham capacidade para armazenar a

energia consumida por pelo menos dois dias de funcionamento e capacidade será determinada pela corrente produzida pelas placas e a radiação solar.

O dimensionamento do inversor é baseado na potência dos equipamentos alimentados pois realiza a conversão da corrente contínua dos módulos para corrente alternada dos aparelhos. E finalmente, para o dimensionamento do controlador de carga deve ser superior a corrente mais elevada, seja a dos painéis solares ou a de consumo (VILLALVA, 2012). Os cálculos do dimensionamento do sistema apresentam-se no desenvolvimento do trabalho, demonstrados na seção 3.3.2.2 que contém o dimensionamento do sistema fotovoltaico aplicado na residência de Três Unidos.

## 2.5 Biomassa e Biogás

Toda matéria orgânica capaz de ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica é considerada biomassa. Sua origem pode ser florestal, agrícola, rejeitos urbanos e industriais. Os derivados obtidos dependem tanto da matéria-prima utilizada (cujo potencial energético varia), quanto da tecnologia de processamento para obtenção dos energéticos (ANEEL, 2008).

Segundo a Aneel (2008), a biomassa é uma das fontes para produção de energia com maior potencial de crescimento nos próximos anos. Tanto no mercado internacional quanto no interno, é considerada uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética e a consequente redução da dependência dos combustíveis fósseis.

De acordo com Zanandréa (2010), o biogás é gerado por meio da mistura gasosa, resultante da fermentação anaeróbia da matéria orgânica, realizada pelas bactérias anaeróbias, denominadas de bactérias metanogênicas. O biogás pode ser produzido artificialmente com a utilização de um equipamento denominado biodigestor anaeróbio.

O biogás é um produto da ação digestiva das bactérias metanogênicas, composto, principalmente, por gás carbônico ( $CO_2$ ) e metano ( $CH_4$ ), embora apresente traços de nitrogênio (N), hidrogênio (H) e gás sulfídrico ( $H_2S$ ). Ele se forma por intermédio da decomposição de matéria orgânica (biomassa) em condições anaeróbicas (ZANANDRÉA, 2010).

## 2.6 Biodigestor

Um biodigestor é composto por uma câmara fechada na qual a biomassa (dejetos de animais e resíduos de alimentos) é fermentada anaerobicamente, ou seja, sem a presença de oxigênio. Como resultado desta fermentação ocorre a liberação de biogás e a produção de biofertilizante (DOTTO; WOLFF, 2012).

O biodigestor realiza um processo bioquímico denominado digestão anaeróbia, que tem como resultado a formação de biofertilizante e produtos gasosos, principalmente o metano e

o dióxido de carbono, segundo Prati (2010). O uso de biodigestores difundiu-se através de várias pesquisas, após a descoberta do gás metano, gerado pela decomposição de restos vegetais confinados.

O sistema trabalha com qualquer tipo de material que se decomponha biologicamente sob ação das bactérias anaeróbias. Praticamente todo resíduo animal ou vegetal é biomassa capaz de fornecer biogás através do biodigestor. Segundo Dotto e Wolff (2012), os resíduos animais são o melhor alimento para os biodigestores, pelo fato de já saírem dos seus intestinos carregados de bactérias anaeróbicas. A Figura 12 representa a configuração de um biodigestor.

Figura 12 – Configuração de um biodigestor.



Fonte: Portal Energia e Biogás

### 2.6.1 Funcionamento do biodigestor

Os biodigestores são constituídos de um misturador, onde a matéria prima e a água são misturadas; uma câmara, onde ocorre a fermentação anaeróbica; uma válvula, onde sai o biogás; e uma saída para que o biofertilizante seja retirado. A matéria prima utilizada pode ser esterco, poda de árvores, palha de cana-de-açúcar, sendo que até os dejetos humanos podem ser utilizados. Segundo Castanho e Arruda (2008), a matéria prima é misturada à água para que o meio fique anaeróbico. É nesse momento que as bactérias iniciam o processo de fermentação da matéria orgânica. A preparação consiste em se fazer uma mistura homogênea de 50% de esterco com 50% de água.

A composição do biogás varia de acordo com o tipo e a quantidade da biomassa que é colocada no biodigestor, os fatores climáticos e seu tamanho. De acordo com Zanandréa (2010), a composição do biogás depende das condições favoráveis às atividades bacterianas anaeróbicas. A temperatura que o biodigestor está operando é fator determinante para que os micro-organismos possam melhor desempenhar suas atividades, pois as bactérias predominantes que atuam no processo de digestão anaeróbia são mesofílas, portanto, a temperatura ideal para o seu desenvolvimento está entre 20 e 45 °C.

## 3 Desenvolvimento

Este capítulo está dividido em 3 subseções e possui o objetivo de apresentar o processo metodológico utilizado na pesquisa, tendo início com o estudo do projeto *Hybrid Microgrid* que possibilitou a implementação do trabalho em Três Unidos e posteriormente apresenta as seções com as etapas do desenvolvimento do projeto aplicado para uso de energia solar e biogás.

### 3.1 Metodologia

O presente trabalho tem o intuito de apresentar um estudo de caso realizado na comunidade Três Unidos, no estado do Amazonas, em que descreve a instalação e uso de energia solar fotovoltaica para geração de energia elétrica e biodigestor para a geração de gás de cozinha. Para a realização do projeto foi selecionada uma residência que não possuía energia elétrica ligada à rede elétrica e tinha acesso à eletricidade apenas por meio do gerador da escola da comunidade no período da noite, entre 18h e 22h.

Com relação ao tipo de pesquisa, foi utilizado a pesquisa descritiva, que tem como objetivo realizar a descrição da realidade investigada. Para atingir os objetivos definidos para o trabalho foi considerado o estudo do desenvolvimento de microrredes híbridas em comunidade isolada, assim como o relato e as descrições do projeto implementado em Três Unidos, visando demonstrar a execução da solução e seu resultado.

Como indicado anteriormente, a estratégia de pesquisa foi feita em forma de estudo de caso para obter a compreensão, interpretação dos dados da pesquisa. Com relação ao método de coleta de dados, foi utilizado como fonte a observação direta, documentos de registro e a entrevista para aprofundar as informações sobre o objeto de análise. Sobre o método de interpretação de resultados, foi realizada leitura completa do material e buscou-se extrair a essência dos dados e respostas para as perguntas específicas relacionadas aos objetivos da pesquisa.

### 3.2 Projeto *Hybrid Microgrid*

O Hybrid Microgrid é um projeto voltado para o desenvolvimento de microrredes híbridas utilizando energia solar e bioenergia com o intuito de fornecer energia elétrica de forma sustentável para comunidades da Amazônia. O estudo foi apoiado pelo financiamento da Universidade de Sheffield, em parceria com diferentes instituições, como a Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). A dissertação sobre o projeto foi desenvolvido por Samuel Alderton sob orientação de David Poggio.

A geração de energia através de geradores à diesel é a principal solução disponível para

comunidades isoladas, mas o custo elevado, o impacto ambiental e os problemas no fornecimento dificultam acesso a este recurso. A limitação do acesso a serviços é uma das principais causas pelas quais os moradores de comunidades rurais migram para as grandes cidades, portanto, se a eletricidade estiver disponível, as oportunidades para criar atividades econômicas surgem e preservam o direito de continuar vivendo em comunidade, que conseqüentemente ajuda na proteção contra práticas ilegais na Amazônia (ALDERTON, 2020).

O projeto *Hybrid Microgrid* visa a integração do processo de digestão anaeróbica com a energia solar fotovoltaica com o objetivo de formar um modelo de economia circular, que associa o desenvolvimento econômico ao melhor uso dos recursos naturais, possibilitando o acesso à energia limpa e sustentável. O trabalho buscou integrar a engenharia e as ciências sociais para que a solução seja adequada aos diferentes aspectos de cada comunidade local.

O conceito de microrredes híbridas tem sido estudada como solução para aumentar a eficiência no fornecimento de energia ao combinar diferentes formas de energia, porém, a implementação geralmente ocorre utilizando painéis fotovoltaicos com *backup* realizado com diesel. Combinando aos aspectos das comunidades, onde existe grande quantidade de biorecursos, o uso de bioenergia se apresenta como caminho promissor para estabilizar o fornecimento de energia quando o recuso solar diminuir ou a quantidade de demandar por eletricidade aumentar.

A falta de estudos e técnicas implementando energia solar fotovoltaica com a bioenergia, a necessidade de equilibrar a demanda e oferta de eletricidade e executar a combinação de diferentes componentes neste formato de fornecimento de energia são desafios técnicos das microrredes híbridas. Portanto, o projeto buscou uma nova forma de controle com base em uma estrutura distribuída cooperativa de forma a oferecer mais confiabilidade e possibilidade de adicionar componentes em uma futura expansão.

Com relação ao impacto social da solução, o projeto considerou os aspectos econômicos e governamentais integrado ao conhecimento técnico para criar um modelo de negócio sustentável que busca alinhar as percepções das partes interessadas com as necessidades, trazendo acesso à energia, melhoria do tratamento de resíduos, uso de biofertilizantes e novos empreendimentos. Na Tabela 1 apresentam-se os pesquisadores responsáveis e a respectiva instituição de ensino.

Tabela 1 – Pesquisadores do projeto Hybrid Microgrid.

Pesquisadores envolvidos	Instituição
Prof. Dr. Danilo Brandao	Universidade Federal de Minas Gerais
Dr. Davide Poggio	The University of Sheffield
Prof. Dr. Alessandro Bezerra Trindade	Universidade Federal do Amazonas

Fonte: Questionário - University of Sheffield

### 3.2.1 Microrredes híbridas com bioenergia e solar fotovoltaica para eletrificação rural em Mipindiaú

O projeto de microrredes híbridas utilizando energia solar e bioenergia para geração de energia elétrica foi estudado para futura implementação na comunidade Mipindiaú, localizada ao noroeste da capital Manaus. Para atender os aspectos principais do local, foi observado que a energia solar e o uso de biomassa seriam as fontes viáveis para implementação pois seus recursos são os mais disponíveis. Em paralelo, segundo Alderton (2020), estudos anteriores apontavam a combinação da energia solar e biomassa em microrredes híbridas como um sistema mais barato e confiável comparado a um sistema de apenas uma fonte de energia.

Para o desenvolvimento do estudo foi utilizado o *software* HOMER, que tem como objetivo realizar a simulação e a otimização do sistema híbrido de geração de energia. O projeto visou o cenário de fornecimento para toda a comunidade de Mipindiaú e também para um sistema menor contendo a escola e o posto de saúde. Para a geração de energia solar foi considerado a implementação de painéis solares fotovoltaicos, para biomassa foi considerado como ideal o uso do motor de combustão interna e como matéria-prima a codigestão de esterco bovino e resíduos de pescado.

### 3.2.2 Etapas básicas do Projeto de Microrredes em Mipindiaú

1. Realização de prospecção e triagem para escolha da comunidade que não está inserida na rede elétrica e que tenha os requisitos para que seja desenvolvida a eletrificação rural. Os requisitos a serem atendidos incluem um local que esteja longe da sistema de rede elétrica com baixa possibilidade de inclusão; possuir recursos energéticos disponíveis e por fim, ser uma comunidade estável com geração de energia sendo uma objetivo de alta prioridade.

2. A avaliação do local para determinar a carga necessária; a disponibilidade de recursos; a atividade econômica potencial e as vias de distribuições devem ser analisadas.

3. Para realização do projeto foi necessário determinar a arquitetura do sistema que deve ser relacionada como os componentes necessários; a estratégia para descarga elétrica; a escolha do inversor, controlador e banco de baterias; além de ser projetado para garantir energia suficiente para alimentar a carga visando o cenário de perdas de geração e armazenamento.

### 3.2.3 Desenvolvimento do Projeto de Microrrede Híbrida

Como citado na seção 3.2.1, o *software* HOMER foi utilizado com o objetivo de avaliar as configurações da microrrede híbrida através de um modelo de simulação que permite a modelagem do desempenho do sistema híbrido a cada hora do ano para determinar se o projeto é tecnicamente viável. Com relação à otimização, são simulados diferentes configurações e é definido o sistema que satisfaz as restrições tecnoeconômicas com o menor custo. E por fim, o *software* é capaz

de realizar a análise de sensibilidade, de forma que realiza várias otimizações sob uma faixa de valores de entrada para determinar cenários de incerteza como a indisponibilidade de um dos recursos, tanto biogás quanto solar.

O sistema foi desenvolvido para o gerador ser abastecido com biogás produzido a partir da digestão anaeróbica da biomassa e os painéis solares dependendo da temperatura e irradiância solar. Além disso, foi estudada a viabilidade de utilizar apenas painéis fotovoltaicos e armazenamento com baterias; um sistema utilizando apenas biogás com baterias e também um sistema de diesel com baterias.

A comunidade Mipindiaú, para onde o sistema foi estudado e simulado, contém 52 famílias, uma escola e um posto de saúde. Além de ser um local isolado, possui condições desafiadoras devido às fortes chuvas, a alta temperatura e umidade. Para geração de energia, os moradores dependiam de um gerador à diesel mas estava a quatro anos sem funcionar. Para contornar o problema, os recursos mais disponíveis provêm da energia solar e biomassa. Os níveis da radiação solar e claridade são consideravelmente constantes ao decorrer do ano como indica os dados da NASA e a biomassa possui fontes disponíveis na comunidade.

### **3.2.4 Componentes do Projeto de Microrrede Híbrida**

O orçamento para instalação do projeto solar fotovoltaico do sistema híbrido foi realizado pela empresa Expertise Energia Solar de Manaus. Para a quantidade de 20 painéis fotovoltaicos de 330W, o custo foi de R\$ 15.823 e o controlador de carga teve o valor de R\$ 7.822,36. Com relação ao custo do digestor anaeróbico, o mesmo foi estudado através dos modelos da empresa SISTEMA.bio, e para o fornecimento, instalação, treinamento e monitoramento do digestor, o custo seria de US\$ 6.152,50.

Com relação ao grupo gerador à biogás, a empresa Shenton Group estimou os custos em US\$ 27.500 para uma unidade de 25 kW. Para o armazenamento através de baterias, a empresa Expertise Energia estimou os custos para bateria de íons de lítio de 13,8 kWh por R\$ 71.400,00, que podem ser colocadas em paralelo com outros sistemas para fornecer até 441,6 kWh de potência.

O conversor bidirecional foi escolhido através do catálogo do HOMER e tem como função transformar DC para AC e retificar AC para DC, dependendo se o sistema está fornecendo energia pelo biogás ou solar; ou se está armazenando ou utilizando energia.

### **3.2.5 Resultados e conclusões da Microrrede Híbrida**

Através dos dados obtidos, o estudo concluiu que o sistema híbrido oferecia um fornecimento elétrico significativamente mais barato do que os sistemas fotovoltaicos a diesel e solar sozinhos, enquanto o sistema de biogás era inviável.

As condições climáticas na Amazônia possibilita o uso da tecnologia fotovoltaica, portanto, a utilização do biogás em um sistema híbrido necessita justificativa, porém, no sistema híbrido biogás-PV, a biomassa combinada com solar permite que o gerador atenda a carga quando os níveis de irradiação solar são baixos. Portanto, a autonomia menor da bateria do sistema híbrido em comparação ao sistema fotovoltaico não se torna uma barreira devido a pequena diferença na carga não atendida pelos dois sistemas.

Bagaço de cana-de-açúcar, esterco de gado e resíduos de pescado são as opções de matéria-prima analisadas no projeto. A taxa de gaseificação do bagaço da cana-de-açúcar é a mais alta, mais de três vezes a do esterco bovino, e tem disponibilidade muito maior do que os resíduos de pescado, os quais não podem ser considerados como opção independente.

O sistema híbrido utilizando energia renovável (solar e biomassa) fornece eletricidade com menor custo para toda a comunidade de Mipindiaú e também apenas para a escola e posto de saúde. As questões ambientais, transporte e custo do diesel o inviabilizam para uso na microrrede. A capacidade dos sistemas de energia renovável com relação à estabilidade do fornecimento de energia, custo e benefícios ambientais convencem a eliminação do uso de diesel em sistemas de energia fora da rede.

No sistema para toda a comunidade, a diminuição dos custos de geração no uso de um sistema híbrido em oposição a um sistema fotovoltaico conta como ponto positivo. O sistema híbrido para a escola e centro de saúde também oferece fornecimento de eletricidade mais barato e mais confiável do que o sistema fotovoltaico.

O sistema apenas de biogás oferece eletricidade por um preço competitivo, no entanto, a falta de diversidade de recursos, a incerteza na disponibilidade de biomassa e o aumento da carga elétrica não atendida significam que um sistema híbrido é ideal tanto para o sistema menor quanto para o maior.

A co-digestão da biomassa afetou positivamente no rendimento de metano, no custo e na operação do sistema. O estrume co-digerido com resíduos de peixe é indicado como matéria-prima ideal para a digestão anaeróbica quando a biomassa é dimensionada para o sistema. Como consequência, o estudo pode ser aplicado a outros projetos de energia fora da Amazônia, enquanto o potencial de outras combinações de co-digestão também deve ser explorado.

O estudo concluiu que o financiamento privado é fundamental para o bom funcionamento das microrredes a longo prazo. É sugerido um sistema em que cidadãos são contratados pela empresa privada para operar a microrrede, com a empresa operando como consultora e fornecendo equipamentos. A comunidade paga pela eletricidade por kWh e pode ser apoiado por uma combinação do governo local, grupo de financiamento, uma empresa privada e os moradores de Mipindiaú. O investimento resulta numa cadeia de eletrificação que permite benefícios para todas as partes.

### 3.3 Projeto de Energia Solar e Biodigestor em Três Unidos

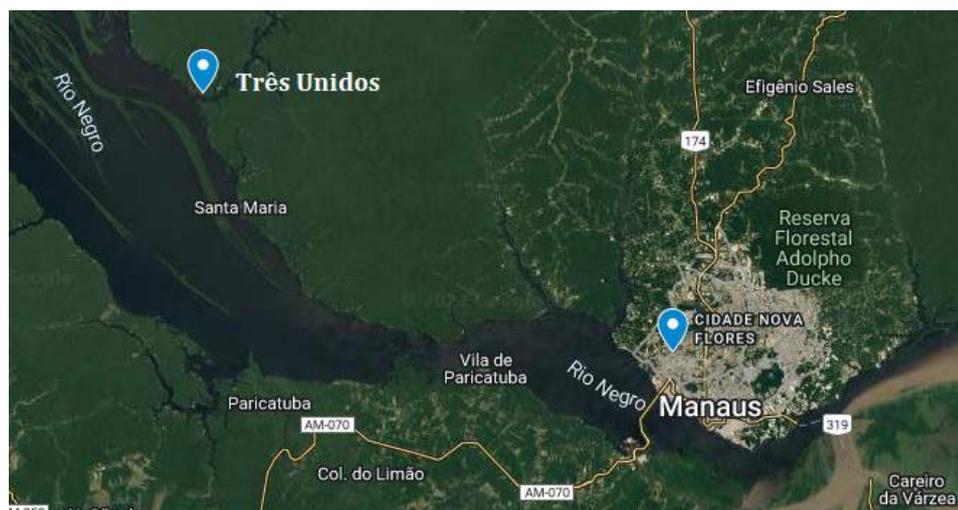
O investimento da Universidade de Sheffield foi direcionado para desenvolver projeto de microrredes híbridas de energia solar e biogás para garantir o acesso à energia sustentável para comunidades rurais isoladas. O financiamento permitiu visitas às comunidades locais e através da pesquisa realizada foi possível considerar como ideal a simulação do projeto para a comunidade de Mipindiaú.

Porém, apesar do dimensionamento realizado pelo simulador e da compra dos componentes, foi constatado que na comunidade Três Unidos haveria apoio logístico, através da Fundação Amazônia Sustentável (FAS), portanto, a disponibilidade de transporte e diminuição dos custos de implementação concedeu o desenvolvimento do projeto nesta comunidade.

O projeto utilizando energia solar para geração de energia elétrica e biodigestor para gerar gás de cozinha foi aplicado em uma residência da comunidade de Três Unidos. O morador Mário dos Santos Cruz vive há mais de 10 anos no local e, juntamente com a família, divide os 7 cômodos da casa. No passado, tinham eletricidade entre os horários de 18h até 22h, obtida através do motor à diesel que fornece energia para a escola da comunidade.

A comunidade Três Unidos pertence aos povos indígenas Kambeba e está localizada na RDS Puranga Conquista, a 60 km de Manaus. Na Figura 13 apresenta-se o mapa com a localização de Três Unidos e Manaus. A comunidade possui um restaurante comunitário e um grupo de artesanato, com especialidade no vestuário tradicional do povo. A etnia é originária da fronteira entre Brasil e países andinos, e com passar do tempo, migraram para a região do Rio Cuieiras (AMAZÔNIA, 2020).

Figura 13 – Localização da Comunidade Três Unidos e Manaus.



Fonte: Hybrid Microgrid Map

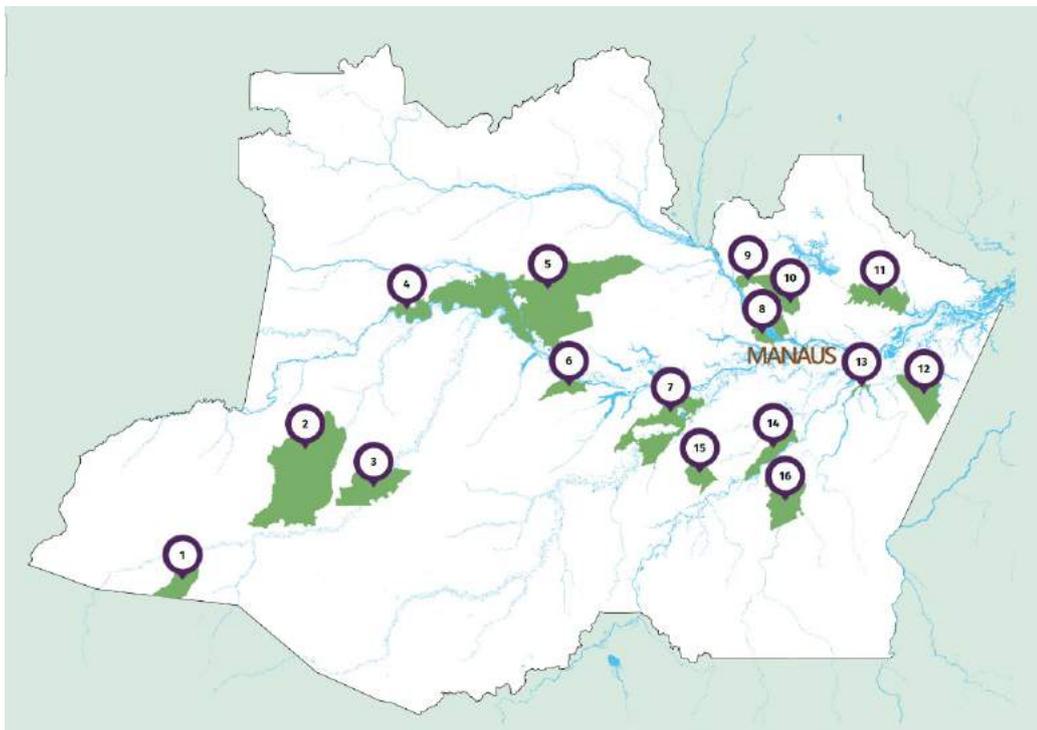
### 3.3.1 FAS - Fundação Amazônia Sustentável

A FAS é uma organização brasileira não governamental, sem fins lucrativos, criada em 8 de fevereiro de 2008. Tem como objetivo promover o desenvolvimento sustentável na Amazônia, portanto, atua em áreas estratégicas da saúde, educação, geração de renda, infraestrutura, conservação ambiental, pesquisa e desenvolvimento. Os trabalhos buscam promover a melhoria da qualidade de vida de comunidades ribeirinhas, indígenas e periféricas da Amazônia.

Em 2021, a FAS colaborou com mais de 646.145 pessoas moradoras de 16 unidades de conservação sustentável no Estado do Amazonas e 27 municípios, contribuindo com soluções para o desenvolvimento sustentável por meio de programas e projetos que visam estratégias para a região.

Na Figura 14, o ponto 7 indica a área da Reserva de Desenvolvimento Sustentável da Puranga Conquista, onde está localizada a comunidade Três Unidos. Com a área de atuação da FAS na região, o projeto pôde contar com a colaboração da ONG para o transporte dos equipamentos e participantes do projeto, saindo do porto da Marina do Davi, situado em Manaus.

Figura 14 – Área de atuação da FAS no Amazonas.



Fonte: FAS Amazônia

### 3.3.2 Projeto do Sistema Solar Fotovoltaico

As seções seguintes tem como objetivo mostrar o desenvolvimento do projeto através do dimensionamento para a residência selecionada, apresentar os componentes utilizados e relatar a instalação do sistema solar fotovoltaico aplicado na moradia da comunidade Três Unidos.

### 3.3.2.1 Aplicação do sistema fotovoltaico isolado

A comunidade Três Unidos não é atendida pela rede elétrica, portanto, o sistema fotovoltaico isolado é uma alternativa ideal para substituir o uso do gerador a diesel da escola que atende as casas no período da noite, inclusive a residência atendida com o projeto.

### 3.3.2.2 Dimensionamento do sistema fotovoltaico

O primeiro passo para realizar o dimensionamento do sistema fotovoltaico é determinar a quantidade de energia produzida pelo painel solar diariamente no local. Para definir a informação necessária foi utilizado o método da insolação, que necessita das informações sobre as condições de insolação do ambiente e características técnicas dos módulos fotovoltaicos. A insolação é medida em Watt-hora por metro quadrado por dia ( $Wh/m^2/dia$ ) e seu valor é encontrado em mapas solarimétricos (VILLALVA, 2012).

O método da insolação para realizar o cálculo da quantidade de energia produzida pelo painel fotovoltaico foi escolhido devido o uso do controlador de carga que possui o recurso do MPPT (Maximum Power Point Tracking). Considerando o valor solar disponível diariamente, o valor máximo possível é analisado, porém, a energia produzida pode ser limitada devido a eficiência do painel.

Neste trabalho foi utilizado o Global Solar Atlas, que permitiu definir o valor da insolação diária para a região desejada. Na Figura 15 abaixo é possível observar o mapa de irradiação presente na comunidade, fornecido pelo site e em seguida, na Tabela 2 abaixo estão concentrados os dados referentes aos quatros tipos de irradiação por dia, inclinação ideal, temperatura do ar e elevação do terreno.

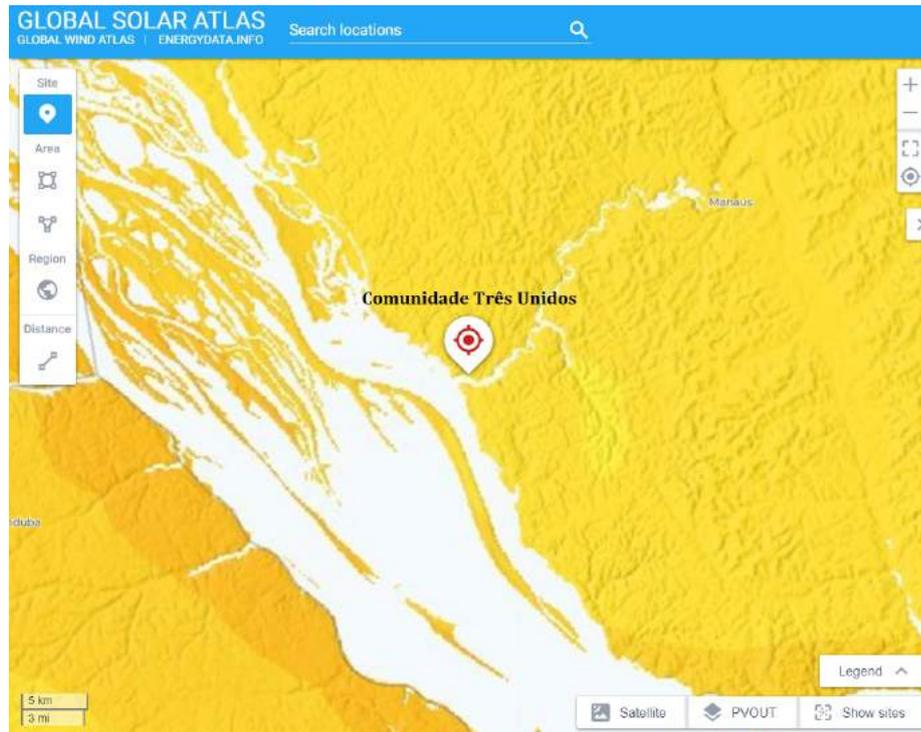
Tabela 2 – Dados do mapa solarimétrico da comunidade Três Unidos.

Dados do mapa	Valores por dia
Irradiação normal direta	3.329 $kWh/m^2$
Irradiação horizontal global	4.933 $kWh/m^2$
Irradiação horizontal difusa	2.486 $kWh/m^2$
Irradiação global inclinada no ângulo ideal	4.943 $kWh/m^2$
Inclinação ideal dos módulos fotovoltaicos	6°
Temperatura do ar	27.1 °C
Elevação do terreno	26 m

Fonte: Global Solar Atlas

Os dados informados acima refere-se ao valor médio de insolação anual, portanto, o valor considerado é a soma das insolações de cada dia do ano dividido pelo número de dias do ano. Considerando o valor da irradiação normal direta,  $3.329kWh/m^2/dia$ , significa que em média o sol fornece diariamente a energia de  $3.329kW$  para cada metro quadrado de área do local, porém, nos meses mais quentes o número é maior e no inverno a energia é menor, o que pode

Figura 15 – Mapas de irradiação da comunidade Três Unidos.



Fonte: Global Solar Atlas

causar falhas do sistema por excesso ou falta de energia, respectivamente. Na Figura 16, pode ser observado os valores da irradiação média ao decorrer do ano.

Figura 16 – Gráfico da Irradiação Normal Direta



Fonte: Global Solar Atlas

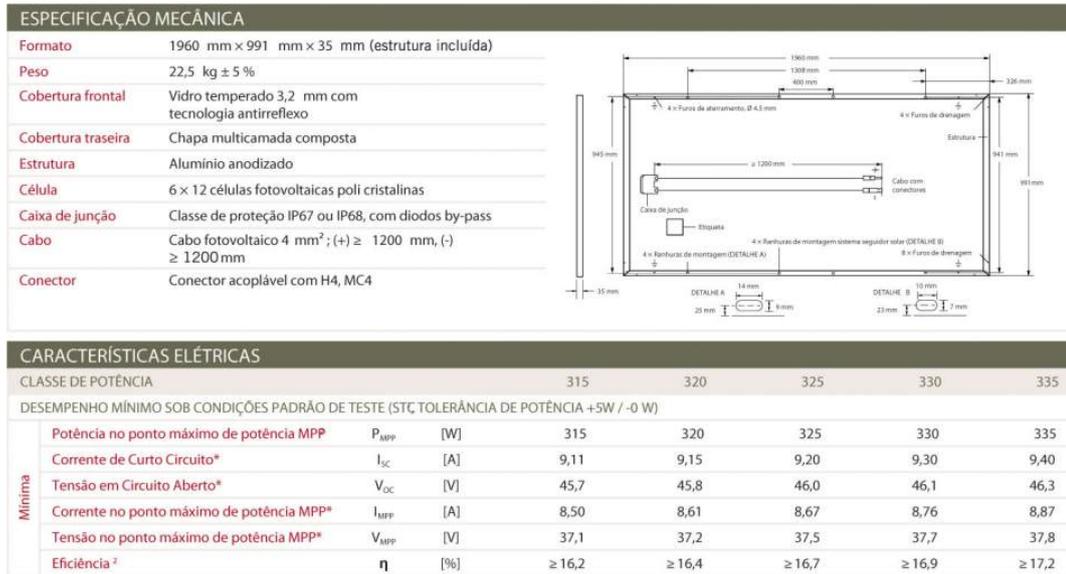
Com relação às características dos painéis solares, as dimensões físicas e a eficiência do módulo são necessárias. Para calcular a energia produzida pelo painel fotovoltaico pode ser utilizada a fórmula da Equação 3.1.

$$E_P = E_S \times A_M \times \eta_M \tag{3.1}$$

Onde  $E_P$  é a energia produzida pelo módulo diariamente em  $[Wh]$ ,  $E_S$  é a insolação diária em  $[Wh/m^2/dia]$ ,  $A_M$  é a área da superfície do módulo  $[m^2]$ , e  $\eta_M$  é a eficiência do módulo.

O módulo utilizado no projeto é referente ao painel solar Q.POWER L-G5 330W, que possui dados técnicos observados na Figura 17 e os dados necessários para o cálculo na Tabela 3.

Figura 17 – Especificações do painel fotovoltaico utilizado no projeto



Fonte: Folha de dados do Painel Q.POWER L-G5 330W

Tabela 3 – Dados do fabricante do painel necessários para cálculo

Dados do painel solar	Valores
Altura	0,99 m
Largura	1,99 m
Área (Altura x Largura)	1,93 m <sup>2</sup>
Eficiência do painel	16,6%

Fonte: Dados do fabricante QCELLS

Com base nos dados informados pelo fabricante apontados na Tabela 3 e pela Tabela 2, considerando a irradiação normal direta, a energia diária produzida pelo módulo fotovoltaico pode ser calculada com a Equação 3.2.

$$E_P = E_S \times A_M \times \eta_M = 3,329 \times 1,93 \times 16,6\% = 1,067kWh \quad (3.2)$$

### 3.3.2.3 Levantamento do consumo de energia do sistema fotovoltaico

A fim de realizar o dimensionamento do sistema solar é necessário realizar o levantamento dos aparelhos elétricos utilizados e o tempo de utilização. O cálculo para a energia necessária é realizado através da potência dos aparelhos e número de horas de uso. Para os sistemas isolados

é interessante que seja considerada a energia consumida diariamente pois o objetivo é dimensionar os painéis e baterias para o uso diário.

Com o intuito de realizar o levantamento da estimativa da curva de carga diário foi utilizado planilha do Excel para estimar as horas do dia em que terá consumo dos aparelhos elétricos e lâmpadas. Com as informações é possível calcular a quantidade de carga instalada e a quantidade de energia consumida, além de traçar o gráfico da estimativa da curva de carga. Na tabela a seguir é possível observar os dados utilizados.

Tabela 4 – Estimativa do consumo diário dos aparelhos eletrodomésticos e lâmpadas.

Aparelhos	Potência (W)	Quantidade	Tempo (h)	Consumo (kWh)
Freezer	250	1	24	6
Impressora	50	1	0,1	-
Lâmpada	15	7	5	0,5
Liquidificador	300	1	0,6	0,2
Notebook	20	2	0,6	-
Roteador Wi-fi	15	1	24	0,4
Televisão	200	2	8	3,2

Fonte: Própria

Com o objetivo de realizar o cálculo do consumo médio de energia (kWh), foi utilizada a seguinte expressão da Equação 3.3.

$$C = \frac{P \times N \times D \times}{1000} \quad (3.3)$$

Onde  $C$  é o consumo médio mensal,  $P$  é a potência nominal do aparelho,  $N$  é número médio de horas de uso e  $D$  é número médio de dias de uso. Com os dados da Tabela 4, foi possível traçar o gráfico com a estimativa de curva de carga com o cenário de eletricidade disponível durante todo o dia. A curva pode ser observada na Figura 18.

Figura 18 – Estimativa para curva de carga da moradia.



Fonte: Própria

Através da soma da potência dos aparelhos considerados na Tabela 4 e da soma da energia demandada de cada dia, é possível obter os valores totais de potência dos aparelhos e energia mensal de consumo, que está indicada na Tabela 5.

Tabela 5 – Valores de potência total dos aparelhos e de consumo mensal.

Potência total dos equipamentos	Energia demandada para consumo mensal
1,140 kW	10,26 kWh

Fonte: Própria

### 3.3.2.4 Quantidade de painéis fotovoltaicos

A determinação da quantidade de painéis empregados é feita com base na produção de energia elétrica do painel no local e do controlador de carga utilizado no sistema. O número total de módulos necessários é calculado pela Equação 3.4.

$$N = \frac{E_C}{E_P} \quad (3.4)$$

Onde  $N$  é o número de módulos empregados no sistema,  $E_C$  é a energia diária consumida no sistema (Wh) e  $E_P$  é a energia produzida por um painel (Wh). Portanto, para o sistema em estudo é considerada a Equação 3.5.

$$N = \frac{E_C}{E_P} = \frac{10,26}{1,067} kWh = 9,62 \quad (3.5)$$

No dimensionamento da quantidade de painéis o número pode ser arredondado para cima ou para baixo e considerando a configuração do sistema, o número considerado é de 10 painéis fotovoltaicos necessários para instalação do sistema.

### 3.3.2.5 Dimensionamento do banco de baterias

Para realização do dimensionamento das baterias do sistema fotovoltaico é necessário determinar o tipo, a quantidade e o modo de conexão das mesmas. É considerado o valor de energia que precisa ser armazenada, que depende da energia utilizada pelos consumidores e da descarga permitida na bateria. Outro ponto a ser considerado é a tensão de operação do banco de baterias, que pode ser 12, 24 ou 48V. O banco pode ser organizado em série ou paralelo e a tensão das baterias e tensão desejada para o banco determinam o número de baterias em série. Em seguida é necessário determinar a capacidade de carga em ampère-hora (Ah) do banco de baterias, que determina a quantidade de baterias em paralelo.

O número de baterias em série é determinada pela fórmula da Eq. 3.6.

$$N_{BS} = \frac{V_{BANCO}}{V_{BAT}} \quad (3.6)$$

Onde  $N_{BS}$  é o número de baterias ligada em série,  $V_{BANCO}$  é a tensão do banco de baterias em (V) e  $V_{BAT}$  é a tensão da bateria utilizada em (V).

A capacidade do banco de baterias é determinada pela Equação 3.7.

$$C_{BANCO} = \frac{E_A}{V_{BANCO}} \quad (3.7)$$

Sendo  $C_{BANCO}$  a capacidade de carga do banco de baterias em (Ah),  $E_A$  é a energia armazenada no banco de baterias em (Wh) e  $V_{BANCO}$  é a tensão do banco de baterias em (V).

A energia armazenada é calculada pela Equação 3.8.

$$E_A = \frac{E_C}{P_D} \quad (3.8)$$

Onde  $E_A$  é a energia armazenada no banco de baterias,  $E_C$  é a energia consumida em (Wh) e  $P_D$  é a profundidade de descarga permitida (20%, 50%, 80% etc.).

O número de baterias em paralelo, que visa constituir o banco de baterias com a capacidade desejada, depende do tipo de bateria utilizada. É preferível escolher baterias com capacidade de ampère-hora mais próxima da capacidade total do banco. O número de conjuntos paralelos é determinado pela Equação 3.9.

$$N_{BP} = \frac{C_{BANCO}}{C_{BAT}} \quad (3.9)$$

Onde  $N_{BP}$  é o número de conjuntos de baterias ligadas em paralelo,  $C_{BANCO}$  é a capacidade de carga do banco de bateria em Ah e  $C_{BAT}$  é a capacidade de carga de cada bateria em Ah.

Aplicando os dados da bateria que estão indicados na Figura 19 e considerando a profundidade de descarga de 80% fornecido pela fabricante, as equações com os dados são apresentadas logo em seguida (Equações 3.11 a 3.13), indicando o uso de duas baterias de lítio de 48V em paralelo.

Figura 19 – Dados da fabricante para bateria de lítio UPLFP48.

Modelo	48V10Ah	48V20Ah	48V30Ah	48V40Ah	48V50Ah	48V75Ah	48V100Ah
Tensão (V)	48	48	48	48	48	48	48
Capacidade (Ah)	10	20	30	40	50	75	100
Energia (Wh)	500	1000	1500	2000	2500	3750	5000
Largura (mm)	442	442	442	442	442	442	442
Profundidade (mm)	285	285	370	430	440	400	520
Altura (mm)	44 (1U)	88 (2U)			132 (3U)	177 (4U)	220 (5U)
Peso (kg)	8,4	15	21	27,5	34,5	44,5	62

Fonte: Folha de dados UNICOBA

$$N_{BS} = \frac{V_{BANCO}}{V_{BAT}} = \frac{48}{48}V = 1 \quad (3.10)$$

$$C_{BANCO} = \frac{E_A}{V_{BANCO}} = \frac{5000Wh}{48V} = 104,16Ah \quad (3.11)$$

$$E_A = \frac{E_C}{P_D} = \frac{10,26kWh}{80\%} = 12,82kWh \quad (3.12)$$

$$N_{BP} = \frac{C_{BANCO}}{C_{BAT}} = \frac{104,16kWh}{100kWh} = 1 \quad (3.13)$$

### 3.3.2.6 Controlador de carga e inversor

Para realizar a especificação do controlador de carga, dois parâmetros são considerados: a tensão de operação e a corrente elétrica máxima fornecida pelos painéis. Através dos dados do fabricante, observa-se que a corrente máxima fornecida por cada módulo é a corrente de curto-circuito, que tem valor de 9,30 A. O conjunto de 10 painéis fotovoltaicos possui 5 módulos em série e 2 conjuntos em paralelo, o que resulta em uma corrente de máxima de  $9,30 \times 2 = 18,6$  A.

É interessante que a corrente máxima fornecida pelos módulos seja corrigida com um fator de segurança de 30% com o objetivo de garantir que a corrente máxima do controlador não será excedida. Neste caso, pode-se considerar que a corrente será  $18,6 \times 1,3 = 24,18$  A. Portanto, o controlador de carga do sistema deve operar na tensão de 48 V e suportar a corrente máxima de 24,18 A.

Com relação ao inversor, sua potência deve ser superior à potência máxima da curva de carga que foi estimada nos passos anteriores. O inversor precisa ter a tensão de entrada igual à tensão de contínua do sistema e tensão alternada conforme a utilização do sistema, com 127 ou 220 V.

A fim de atender aos critérios do sistema, foi utilizado no projeto o inversor solar integrado ao controlador de carga solar MPPT, que possui inversor de onda senoidal pura de alta frequência e um módulo de função para aplicações de energia de reserva independente e aplicações de autoconsumo. Na Figura 20 é possível observar o inversor da fabricante Growatt, modelo SPF 3000TL LVM-ES, que tem como características a potência nominal de 3kW e faixas MPPT 120V 250V.

### 3.3.2.7 Componentes do sistema solar fotovoltaico

O sistema solar fotovoltaico aplicado é composto de 10 módulos solares de 330W, um inversor solar multifuncional integrado a um controlador de carga MPPT e duas baterias de lítio. Os módulos fotovoltaicos produzem energia elétrica na forma de tensão e corrente contínua, portanto, para adaptar ao consumo em tensão e corrente alternada, é necessário converter a energia através do inversor. Para o armazenamento através do banco de baterias é necessário o

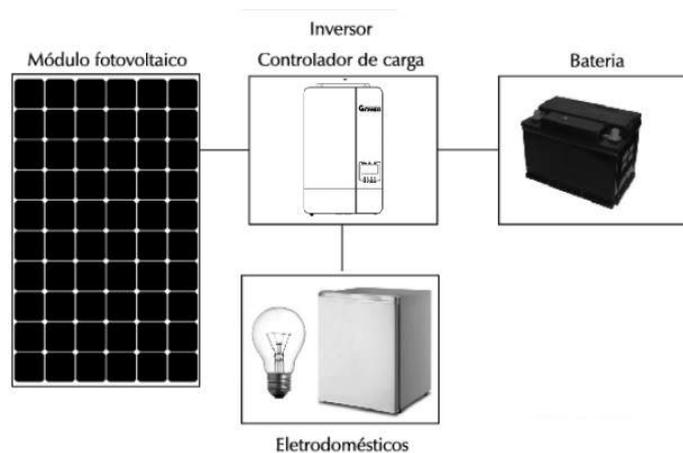
Figura 20 – Inversor com controlador integrado MPPT.



Fonte: Signature Solar

uso do controlador de carga para regular a carga da bateria, proteger de sobrecargas e maximizar a produção de energia utilizando a função MPPT (Rastreamento do ponto máximo de potência). O sistema simplificado é representado na Figura 21.

Figura 21 – Componentes do sistema solar fotovoltaico aplicado.



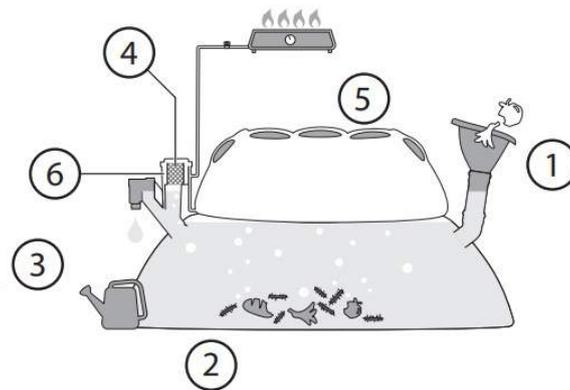
Fonte: Adaptado de Villalva, 2012, p.102

### 3.3.3 Projeto do Sistema de Biogás

Para o projeto do sistema de biodigestão foi considerado o uso do HomeBiogás 7.0, um biodigestor autônomo de média escala que realiza a conversão de resíduos orgânicos e esterco animal em gás de cozinha e fertilizante. O biogás é um gás inflamável mais leve que o ar, composto principalmente de metano e dióxido de carbono, e com o sistema é obtido através da fermentação anaeróbica da matéria orgânica. O sistema funciona com fluxo contínuo, pois os resíduos orgânicos são alimentados em uma extremidade e o biogás e o fertilizante são emitidos constantemente na outra extremidade enquanto o sistema estiver ativo e sendo alimentado.

No mercado foi possível encontrar dois modelos do biodigestor: HomeBiogás 2.0 e HomeBiogás 7.0, em que a diferença consiste na capacidade em litros. O primeiro dispõe de aproximadamente 2000 litros e o segundo com 7000 litros, contabilizando a quantidade de biomassa no tanque do biodigestor juntamente com o tanque de gás. Para o projeto do sistema de biogás foi selecionado o modelo HomeBiogás 7.0 devido ao objetivo de fornecer gás de cozinha para duas residências da comunidade, pois o mesmo pode fornecer de 5 a 7 horas diárias de biogás para cozimento se for alimentado de forma correta.

Figura 22 – Representação do funcionamento do biodigestor.

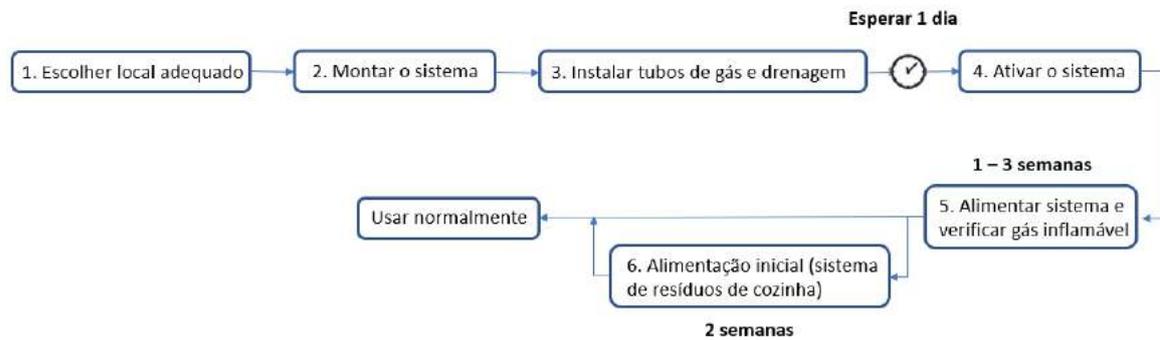


Fonte: HomeBiogas Manual

A Figura 22 representa as etapas de funcionamento do biodigestor, em que o Ponto 1 indica o tanque digester onde é feita a alimentação com resíduos orgânicos e preenchido com água. O Ponto 2 indica o interior do sistema onde as bactérias anaeróbicas biodegradam os resíduos orgânicos, produzindo o biogás no processo. O Ponto 3 indica a saída do fertilizante líquido que também é gerado pelo sistema. É indicado no Ponto 4 o local onde o biogás gerado passa por um filtro ativo para remover odores desagradáveis e vestígios de sulfeto de hidrogênio e por fim, é armazenado no tanque de gás. O Ponto 5 indica o mecanismo que regula a pressão do gás para cozinha quando o biogás é utilizado, permitindo pressão contante para o dispositivo final. E por fim, o Ponto 6 indica o local do mecanismo de liberação de pressão que libera o excesso de gás quando o tanque está cheio. Para a montagem do sistema e inicialização é recomendado os passos da Figura 23.

Na Figura 23, o diagrama indica que após a escolha do local de instalação e montagem do sistema, é necessário esperar um dia para ativá-lo após verificar que não apresenta vazamentos. Para ativar o sistema, utilizar esterco de animais de uma só vez ou durante alguns dias. Em seguida, realizar a alimentação do sistema com resíduos de cozinha, misturar com estrume e o dobro de água para formar uma pasta. Por fim, tentar acender o gás assim que o tanque de gás começar a encher visivelmente.

Figura 23 – Representação da montagem e uso do biodigestor.



Fonte: HomeBiogás Manual

### 3.3.4 Instalação dos sistemas solar e biodigestor em moradia de Três Unidos

O Homebiogás 7.0 foi adquirido de uma empresa em Manaus que é representante desta marca Israelense de biodigestores. Esta empresa é a INN.Force Tech, situada próximo à UFAM, no Bairro do Japiim. Pelo sistema, incluindo a entrega na comunidade e a instalação em um dia, foram cobrados um total de US\$ 7.039,00 em maio de 2021.

Já a instalação do sistema solar fotovoltaico para geração de energia elétrica foi realizada através de quatro atividades de campo na comunidade Três Unidos entre os anos de 2021 e 2022. O transporte, foi permitido por meio da parceria entre o projeto e a Fundação Amazônia Sustentável (FAS), que disponibilizou motorista e combustível para as visitas. A moradia que recebeu a instalação dos sistemas tem como representante o morador Mário dos Santos Cruz, que mora com a companheira e quatro filhos.

A primeira atividade de campo foi realizada no dia 15 de setembro de 2021 e teve como principal objetivo realizar a instalação do biodigestor HomeBiogás 7.0 na moradia. Para o primeiro passo da instalação, precisou ser determinado um local externo à casa para que o gás excedido possa ser liberado com segurança.

O local escolhido foi ao lado da casa, próximo à saída da cozinha pois o sistema precisa ser de fácil acesso para fornecer o gás. Outro ponto importante considerado é que o sistema deve ser instalado em área com acesso aos raios solares para atingir a produção de gás ideal.

Com isso, a Figura 24 mostra o biodigestor esticado no local escolhido. Pela praticidade da solução, bastou que o terreno fosse plano. Nesta ida, havia uma equipe de 4 pessoas da empresa INN.Force e mais a equipe da UFAM para acompanhar.

O espaço destinado ao sistema do biodigestor precisava de pelo menos 2,7 x 5,2 m de espaço, com 0,5 m de lado e 0,7 m de folga frontal para manutenção e uso diário. Outro ponto importante é ter colocado o sistema em um local com alcance ao abastecimento de água. Na Figura 25 é possível observar a instalação da saída de gás e do fertilizante ao lado direito do sistema e o conjunto do tubo de entrada e pia ao lado esquerdo.

Figura 24 – Local escolhido para instalação do Biodigestor.



Fonte: Própria

Figura 25 – Instalação do conjunto da pia e saída de gás.



Fonte: Própria

O próximo passo foi encher o sistema com água e verificar se o mesmo não apresenta vazamentos. Em seguida, foi necessário utilizar areia seca para preencher os pacotes fornecidos pela fabricante e inserir no tanque de gás, como mostra as Figura 26 e 27.

Para a instalação do tubo de gás, foi considerado o pequeno ângulo para utilizar pontos mais baixos visando a drenagem da água coletada pelos tubos. Para o sistema foi elevado nas proximidades da janela da cozinha e utilizado um balde para envolver saída da drenagem de água como mostra a Figura 28.

Figura 26 – Pacotes de areia sendo preenchidos para inserir no sistema.



Fonte: Própria

Figura 27 – Sistema do biodigestor com pacotes de areia.



Fonte: Própria

Após a montagem do biodigestor, foi necessário realizar a ativação do sistema por meio da inserção da pasta com resíduos na pia do biodigestor. Nesta etapa ainda não poderia ser adicionado restos de alimentos, apenas quando a chama possa ser produzida no fogão. Na Figura 29 pode ser observado os resíduos sendo inseridos no sistema de biodigestor. Dentro da estimativa de 1 a 3 semanas o biodigestor iniciou a produção de gás após a alimentação com biomassa.

A segunda atividade de campo ocorreu em 15 de outubro de 2021 e teve como propósito ser a primeira visita para implantação do sistema solar fotovoltaico. O primeiro passo foi realizar a montagem da base de madeira que sustenta o conjunto de painéis, em seguida fixar os painéis na base e por fim, fazer a interligação dos painéis como mostra a Figura 30.

Figura 28 – Sistema de drenagem e tubo de gás para cozinha.



Fonte: Própria

Figura 29 – Alimentação de resíduos para ativação do sistema.



Fonte: Própria

Para o sistema fotovoltaico, foi construído uma base de madeira no solo, com leve inclinação, para que os 10 painéis ficassem posicionados em local ideal para funcionamento. A escolha de posicionar os módulos na base foi devido ao fato de ser inviável alocar os painéis no telhado da residência devido sua estrutura. Os módulos foram conectados de forma que interligassem em paralelo os dois ramos com 5 módulos em série. A Figura 30 apresenta o conjunto de painéis montados na parte de trás da moradia.

A terceira atividade de campo foi feita no dia 10 de novembro de 2021 e teve a finalidade de ser instalada a *string box* do sistema, realizado o aterramento do projeto e ajustado todos

Figura 30 – Painéis fotovoltaicos instalados na base.



Fonte: Própria

os cabos de fora da casa. A *string box*, componente de proteção da parte contínua do sistema fotovoltaico, foi instalada na base de madeira do conjunto de painéis e contém 2 dispositivos de proteção contra surtos (DPS) e 2 disjuntores de 20A. Na Figura 31 é possível observar o componente e sua ligação com a conexão dos módulos fotovoltaicos. Outra atividade realizada foi o aterramento do sistema fotovoltaico, em que foi utilizado o aterramento em triângulo com espaçamento de 3 metros de cada haste utilizada.

Figura 31 – String Box do Sistema Fotovoltaico.



Fonte: Própria

A quarta atividade de campo ocorreu no dia 18 de fevereiro de 2022. A partir do presente ano foi iniciado o estudo e relato projeto no formato de estudo de caso, portanto, nesta visita foi realizada a entrevista com o morador Mário dos Santos, que recebeu os sistemas na residência, para obter os dados referentes ao dados gerais, identificação do imóvel, estrutura familiar vivendo

na moradia, educação, atividades produtivas, alimentação, saúde, levantamento energético e demanda elétrica. A análise dos dados apresenta-se no próximo capítulo.

Na parte técnica do projeto, o objetivo principal era a instalação e acionamento do sistema solar fotovoltaico e fazer a instalação elétrica para energização. O conjunto com inversor acoplado com controlador de carga, quadros de distribuição e banco de baterias foram fixados em um cômodo da casa que não possuía movimentação de pessoas. A conexão com cabos entre o inversor, as baterias e os cabos podem ser vistos na Figura 32. Para o caso das baterias, as mesmas apresentaram falha para conectar ao sistema, não permitindo armazenamento de energia caso o sistema estivesse operando.

Figura 32 – Inversor com controlador, quadros e baterias conectados.



Fonte: Própria

Além da ligação dos componentes do sistema solar, foi realizada a instalação elétrica das tomadas e lâmpadas dos cômodos, sem considerar as lâmpadas para cozinha e banheiro por motivo de falta de equipamento para realizar atividade na altura necessária. Portanto, parte da instalação elétrica da casa pôde funcionar durante o dia pelo sistema fotovoltaico sem utilizar as baterias.

A quinta e última visita de campo ocorreu no dia 30 de março de 2022 e teve como objetivo reprogramar as baterias para testar funcionamento para armazenamento de energia; finalização da fiação elétrica na cozinha e banheiro da casa e por fim, ajustar e fixar a mangueira do biodigestor para o medidor de gás.

O sistema solar fotovoltaico foi acionado e permitiu a geração de energia elétrica pela parte do dia, enquanto houvesse radiação solar. A geração de energia para o período da noite não foi possível devido ao problema nas baterias de lítio que não estavam sendo reconhecidas pelo inversor, portanto, o problema persistiu, sendo necessária a troca das baterias que estavam sendo utilizadas. Também foi concluída a instalação das tomadas e lâmpadas em todos os cômodos da

Figura 33 – Sistema Fotovoltaico funcionando sem baterias.



Fonte: Própria

casa. Na Figura 33 é apresentado o sistema em funcionamento a partir da tela do inversor.

Dentre os desafios na implementação do sistema com biodigestor estava os vazamentos que apareceram ao longo do tempo, fruto da falta de experiência dos instaladores e do não cumprimento de todas as recomendações do fabricante durante a instalação inicial. No caso da ação na última visita realiada, foi necessário realizar a troca das mangueiras no medidor de gás para evitar falhas devido a pressão do sistema. Como resultado, foi obtido o pleno funcionamento do HomeBiogás para a geração do gás de cozinha, como mostra a Figura 34.

Figura 34 – Fogão do HomeBiogás em funcionamento.



Fonte: Própria

## 4 Resultados

Este capítulo é dedicado à apresentação, interpretação dos dados e análise dos resultados alcançados neste estudo. Tem como função identificar elementos que tornam perceptíveis que os objetivos geral e específicos foram atendidos, assim como agregar pontos que contribuam com o desenvolvimento de projetos que utilizam energia renovável. Posto isso, o presente estudo tem o intuito de apresentar o impacto gerado pelo uso do sistema solar fotovoltaico e uso de biodigestor na moradia da comunidade Três Unidos.

### 4.1 Descrição da comunidade Três Unidos e casa atendida pelo projeto

O primeiro objetivo específico do estudo era descrever a comunidade onde está localizada a moradia que recebeu o projeto de eletrificação através da geração de energia solar fotovoltaica e utilização de gás de cozinha através da geração de biogás por meio da instalação do biodigestor. Através da leitura e observação apontadas na metodologia, foi possível traçar o contexto da comunidade e a importância de projetos que visam substituir os atuais motores a diesel para geração de energia.

A comunidade Três Unidos, localizada na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Puranga Conquista pertencente ao estado do Amazonas, é isolada geograficamente, portanto, não está conectada na rede elétrica devido a baixa demanda de energia para uso residencial e elevado custos para rede de distribuição. Como resultado, os moradores não possuem fornecimento de energia elétrica de forma convencional, dificultando o acesso aos meios de comunicação, precariedade da educação e aumentando os desafios do atendimento básico de saúde.

Através da realização de entrevista ao morador da residência atendida pelo projeto, foi possível obter os dados referentes às características e particularidades da casa pertencente à comunidade Três Unidos. A pesquisa foi realizada no dia 18 de fevereiro de 2022 e teve início às 13h30. O morador da comunidade Mário dos Santos Cruz, de 33 anos, reside de forma permanente na residência a mais de 10 anos e não tem pretensão de mudar de localidade. A residência é um imóvel próprio, de alvenaria e madeira com telhado de alumínio, que possui 7 cômodos sem eletricidade (1 pátio, 1 sala, 1 cozinha, 2 quartos, 1 banheiro e 1 cômodo livre).

### 4.2 Descrição do projeto do sistema solar fotovoltaico

O segundo objetivo específico era voltado à descrição do projeto do sistema solar fotovoltaico que foi implementado na residência do morador Mário dos Santos. Através das consulta

bibliográfica utilizada como método neste estudo, foi possível apresentar em etapas como foi dimensionado e instalado o sistema solar. Primeiramente, através dos estudos referentes à utilização de energia renovável na região amazônica e na evidência da região possuir índices satisfatórios de radiação solar, foi possível considerar o sistema fotovoltaico como um intermédio favorável para a geração de eletricidade para uma residência de comunidade isolada.

Na sequência, a viabilidade de produção de energia solar foi constatada através dos dados e indicadores presente no mapa solarimétrico Solar Global Atlas, utilizado como método de estudo da irradiação disponível para o sistema. Em seguida, foi realizado o levantamento da carga consumida na residência de acordo com a entrevista feita ao morador, em que foi obtida a demanda elétrica considerando os aparelhos que o morador possuía, presente na Tabela 4 do Capítulo 3. Utilizando a abordagem do estudo de aplicação de energia solar fotovoltaica para sistemas isolados, foi possível dimensionar e definir os componentes do projeto e resultar na garantia de funcionamento para o uso de 10 painéis solares fotovoltaicos de 330W, um inversor multifuncional com controlador de carga integrado e 2 baterias de lítio de 48V.

Com a realização da instalação dos equipamentos do sistema solar juntamente com a implementação da instalação elétrica foi possível acionar o sistema fotovoltaico para geração de energia em quanto houver incidência de raios solares suficiente. Esta adversidade à geração de eletricidade contínua para as 24 horas do dia foi consequência do problema de reconhecimento das baterias de lítio com o inversor solar. Durante as visitas realizadas, o problema foi analisado e as baterias foram reprogramadas, como indicado pelo engenheiro da fabricante, porém, após sucessivas tentativas o sistema não foi reconhecido. As baterias foram compradas no início do ano de 2021, portanto, sua instalação foi realizada após o período de um ano, aproximadamente, sendo necessário realizar a troca do conjunto.

### **4.3 Descrição do projeto do sistema de biogás**

Nesta seção é apresentado os resultados advindos da descrição do projeto do sistema de biogás instalado ao lado da residência que recebe o projeto. Através do referencial bibliográfico, foi possível elencar os principais pontos para entendimento do funcionamento da geração de biogás através do processo de biodigestão anaeróbica. De forma a facilitar o processo de montagem da estrutura do biodigestor, foi utilizado no projeto um sistema autônomo de fácil instalação que não utiliza eletricidade para funcionamento.

O HomeBiogás 7.0 foi a versão do produto utilizada e seu sistema acompanha os seguintes componentes: um tanque de digestão flexível com capacidade de 4.300 L; um tanque de gás de 2.500 L com sistema de pressão integrado e válvula de segurança; uma pia de entrada para resíduos; um filtro de gás para remover o odor; mangueira com conectores e válvulas para o gás e por fim, um fogareiro de biogás com duas bocas. A capacidade do sistema fornecida pelos dados do fabricante foi de 10 kg de resíduos orgânicos por dia para gerar a quantidade de 5 a 7 horas de

gás para cozinha e 10 litros de biofertilizante para plantações e hortas. E o modelo 7.0 indica que a capacidade total em litros é de aproximadamente 7.000 litros (4.300 + 2.500).

#### 4.4 Geração e consumo de energia solar fotovoltaica

O objetivo específico do estudo visava relatar a geração e consumo de energia solar fotovoltaica. Em relação ao cumprimento deste objetivo, foi observado que a geração de energia por meio de um sistema solar fotovoltaico de 3,3 Wp atende o consumo médio mensal estimado para a residência que recebeu o projeto. Através das ferramentas foi possível obter os dados estimados de potência total dos aparelhos utilizados em casa,  $P_T = 1,140kW$ , e a energia demandada para consumo mensal estimado com o valor de  $EC = 10,26kWh$ .

Com relação à geração de energia para a residência, pode ser observado na Figura 35 que o inversor utilizado no projeto possui um painel de operação em que é possível indicar o status operacional e as informações de entrada/saída de energia. Também é possível identificar que foi inserido na parte de baixo do inversor um módulo Wifi/GPRS que tem capacidade de realizar o monitoramento, possibilitando ao usuário monitorar o sistema no celular ou site, porém o dispositivo não foi configurado para o sistema pois as viagens à comunidade eram realizadas em apenas um dia e o tempo era destinado principalmente à instalação e análise de problema dos componentes principais.

Figura 35 – Funcionamento do inversor com dados de geração solar.



Fonte: Própria

O ponto 1 indica a energia, tensão, frequência e corrente de entrada CA, portanto, permaneceu zerado pois não está conectada ao tipo de entrada com corrente alternada. O segundo ponto

mostra as informações de saída como a tensão, corrente, frequência e temperatura do inversor, indicando 119 V. O ponto 3 representa as informações sobre potência e porcentagem da carga, apresentando 1,5%, e adicionalmente alerta sobre ocorrência de sobrecarga ou curto-circuito. O quarto ponto mostra as informações de entrada fotovoltaica como a energia, tensão e corrente, indicando 209,8 V no painel. O ponto 5 mostra as informações sobre a bateria e devido ao problema na mesma, não indica que possui componente de armazenamento conectado. Por último, o ponto 6 mostra outras informações como código de advertência ou código de falha.

Através do questionário realizado com o morador, foi possível colher as informações a respeito da demanda elétrica, indicando a quantidade de equipamentos e estimativa de tempo de uso. Os principais consumos de energia advém do freezer de 160L, um liquidificador, duas televisões e as 3 lâmpadas, que eram utilizados quando o gerador à diesel estava funcionando entre os horários entre 18h e 22h.

Por fim, com relação ao uso do sistema fotovoltaico após a última atividade de campo em que foi finalizada a fiação elétrica da residência, foi constatado que o sistema funciona durante o dia e consegue atender entre os horários de 8h às 16h. Atualmente, os moradores utilizam durante o dia principalmente um ventilador, um freezer, duas televisões, um liquidificador, roteador para internet, uma máquina de lavar e lâmpadas quando necessário. Para a utilização dos equipamentos para o artesanato, que possuem maior consumo de energia, é necessário destinar a geração apenas para esses instrumentos.

## 4.5 Uso de biomassa e geração de gás

Este objetivo específico que visa o relato da utilização de biomassa e geração de gás de cozinha tem o intuito de relacionar a capacidade dos moradores de utilizar os resíduos orgânicos para alimentar o biodigestor instalado na residência e como consequência do processo de biodigestão anaeróbica no digestor, ser possibilitado o acesso ao gás de cozinha através do fogão próprio do sistema.

Através da entrevista realizada foi possível obter as informações com relação às atividades realizadas pela família. Um ponto interessante considerado para o uso de biomassa é que os moradores possuem uma criação de animal e plantação. Realizam a criação de porcos e o cultivo de macaxeira, cupuaçu, ingá, manga, limão, abacaxi, caju, cebola de palha, cheiro verde e chicória. Juntamente com os resíduos da cozinha como fonte, foi possível indicar o uso favorável de biomassa para a geração de gás.

Após a implantação do sistema de biogás e troca da mangueira que interceptava o medidor de gás para evitar falhas de vazamento devido a pressão, foi realizado o teste na última visita de campo descrita no Capítulo 3, que confirmou funcionalidade do sistema. Nos meses seguintes à alimentação do biodigestor, o sistema apresentou problema na inserção dos resíduos pois o mesmo sofreu com entupimento. Em decorrência deste problema o sistema ficou sem utilização

por curto período de tempo. O retorno do funcionamento foi possível através da limpeza do sistema.

Através dos dados anotados pelo morador durante os meses de maio, junho e julho foi possível identificar os dias, tempo de uso do gás, quantidade e tipo de alimentação além do consumo contabilizado pelo medidor. Os dados podem ser observados nas Tabelas 6, 7 e 8.

Tabela 6 – Dados de uso do biodigestor durante mês de maio.

Dia de uso	Tempo de uso (min)	Alimentação	Consumo ( $m^3$ )
02	30	2 kg de arroz	3,683
04	30	2 kg de feijão e arroz	3,699
06	30	2 L de caldo	3,750
08	30	1 kg de bolacha	3,802
12	60	3 kg de casca de banana	3,890
16	30	0,5 kg de farinha	3,930
20	30	3 kg de farinha	3,970
25	30	2 kg de peixe	4,020

Fonte: Dados anotados por Mário do Santos

Tabela 7 – Dados de uso do biodigestor durante mês de junho.

Dia de uso	Tempo de uso (min)	Alimentação	Consumo ( $m^3$ )
03	30	0,5 kg de arroz	4,070
06	30	0,5 kg de arroz	4,120
09	30	2 L de caldo	4,180
10	30	0,5 kg de arroz	4,235
16	30	1 kg de feijão	4,295
20	60	2 kg de casca de banana	4,383
23	30	1 casca de melancia	4,491
29	30	1 kg de macarrão	4,553

Fonte: Dados anotados por Mário do Santos

Tabela 8 – Dados de uso do biodigestor durante mês de julho.

Dia de uso	Tempo de uso (min)	Alimentação	Consumo ( $m^3$ )
02	30	2 kg de arroz	4,620
05	30	1 kg de macarrão	4,699
08	60	2 kg de peixe	5,800
13	30	3 kg de farinha	6,693
16	30	1 kg de casca de banana	7,021
19	30	0,5 kg de peixe	7,070
21	60	3 kg de feijão e arroz	7,123
23	30	2 kg de macarrão	7,189
26	60	30 kg de cebola	7,281
30	60	2 kg de arroz	7,393

Fonte: Dados anotados por Mário do Santos

O abastecimento de resíduos durante as primeiras semanas de agosto foi possível ser realizada em 3 vezes por semana, segundo informações do morador. A média da quantidade de recursos durante os abastecimentos variaram entre 2 a 5 kg. Os elementos mais comuns para alimentação do sistema foram o arroz, feijão e macarrão. O tempo de utilização do gás variou de 30 a 60 minutos, dependendo do modo de preparo e motivo do uso.

Na Figura 36 está o sistema em funcionamento para preparo de refeição após alimentação do biodigestor. Com relação ao uso do fogão, foi reportado uma condição de instabilidade quando o sistema era utilizado para as três principais refeições, portanto, seu uso foi destinado para preparação do almoço. Os dados da tabela também indicam o uso intercalado do sistema, sendo utilizado a lenha, carvão ou gás como alternativa quando necessário.

Figura 36 – Sistema de biogás em funcionamento.



Fonte: Própria

O uso do medidor para identificar a quantidade de gás utilizado é mostrado na Figura 37, em que foi relatado o painel embaçando, dificultando a leitura do valor. O medidor utilizado fornece o valor em metros cúbicos com a parte em preto sendo o número inteiro e parte vermelha sendo o número decimal, portanto, o valor indicado é de  $7,978 m^3$  referente ao mês de agosto.

Aqui deve-se destacar alguns fatores críticos para o uso e para os resultados alcançados com o biodigestor: (a) a instalação, em função da falta de experiência da equipe envolvida, ocorreu de uma forma que não cumpriu com todos os requisitos e indicações dadas pelo manual do fabricante, e isto teve impacto nos vazamentos e na geração de resíduo nas mangueiras de saída de gás. Deve-se destacar que uma válvula de drenagem não foi instalada, mas que serve para retirar a formação de líquido que (potencialmente) se produz pela passagem do gás pela mangueira, como forma de evitar que chegue ao fogão; (b) a equipe do projeto não foi contemplada com viagens periódicas menos espaçadas à comunidade, e o morador demorou muito a fazer os relatos de problema e não anotava diariamente as quantidades de biomassa (e que tipo de biomassa) que ele alimentava o biodigestor, nem quanto ao uso exato (em horas) do fogão. Isto dificultou a tomada de ações pela equipe técnica e não possibilitou uma melhor análise do gás

Figura 37 – Medidor de gás do sistema do biodigestor.



Fonte: Própria

usado/produzido; (c) o morador foi instruído ainda a produzir biomassa em um tanque com água, colocando gramas e outras plantas regionais para apodrecer, mas o mesmo acabou não procedendo como o indicado, o que diminuiu a alimentação do biodigestor em várias etapas de funcionamento. O mesmo originalmente criava porcos mas, desistiu do negócio, diminuindo ainda mais a quantidade de biomassa disponível; (d) a ativação e manutenção do biodigestor, conforme manual do fabricante, deve ser feita por fezes de animais ruminantes, principalmente de gado, cujo resíduo é ideal para a ativação do biodigestor. Entretanto, nem na comunidade e nem nas comunidades mais próximas foi encontrado gado para aumentar a produção de biogás.

## 4.6 Impacto da solução para os moradores

Para finalizar os objetivos específicos pretendidos de forma a alcançar o objetivo geral do trabalho, foi realizado a descrição do impacto da solução para os moradores da residência pertencente à comunidade Três Unidos. Primeiramente, utilizando a entrevista realizada com o morador, foi possível traçar um perfil da família que recebeu o projeto. A base de perguntas da entrevista foi inserida na seção de Anexos do trabalho.

Primeiramente, com relação à estrutura familiar vivendo na moradia e sua educação, têm-se na casa o morador Mário dos Santos Cruz e sua companheira entre a idade de 21 - 40 anos; um filho entre a idade de 11 -15 anos; uma filha com idade entre 5 - 10 anos; e um filho com até 5 anos de idade, totalizando 3 homens e 2 mulheres. Todas as pessoas na casa estão estudando e não há criança em idade escolar que não vai à escola.

Mário dos Santos é professor de educação indígena e realiza especialização em gestão de projetos e formação de docentes, juntamente de sua companheira que é professora da Escola Indígena Municipal Kanata T-ykua. Este cenário contribui para que o impacto seja positivo para uso de geração elétrica por energias renováveis pois a eletrificação da residência permite que o

ambiente seja propício para continuidade nos estudos, trazendo comodidade para realização de pesquisas e leituras.

A respeito das atividades produtivas desenvolvidas na residência foi verificado o artesanato produzido e vendido por Mário na feira de artesanato da comunidade, que envolve por exemplo, a representação de animais amazônicos em peças de madeira. Para esta atividade é necessário o uso de lixadeira, furadeira, serra elétrica e motor serra, sendo de extrema importância a geração de energia elétrica própria para desenvolvimento da atividade. A outra ocupação remunerada advém do cargo de funcionária pública de sua companheira como professora da escola da comunidade, em que se utiliza principalmente o notebook para realização das atividades. Em terceiro foi citado a criação de porcos e plantação como meio produtivo. Dessa maneira, os dois contribuem com a renda da família que possui uma renda mensal entre 1 e 2 salários mínimos.

Com relação à alimentação, através da entrevista foi constatado que na residência da família os 5 moradores realizam 5 refeições diárias (café, lanche, almoço, lanche e jantar) que são realizadas na cozinha interna e antes do projeto era utilizado um fogão, comprado na cidade de Manaus com valor em torno de R\$ 400 reais e uma churrasqueira com uso de carvão e lenha.

O morador utilizava os seguintes energéticos: lenha, gás de cozinha e carvão para preparar as refeições; bateria para uso das lâmpadas, internet, notebook e televisão; e óleo diesel para o motor gerador com finalidade de uso do freezer. Por fim, indicou o consumo mensal de 80 kg por mês de lenha, 1 botija de gás de 13 kg, 1 saco de carvão de 30 kg e uma bateria DC. A lenha é advinda de madeiras da própria região, o gás era comprado por R\$ 130,00 no 'flutuante', o carvão por R\$ 20,00 na mercearia da comunidade Três Unidos e a bateria com valor estimado de R\$ 1.200,00 em Manaus.

Através da solução utilizando sistema fotovoltaico para geração sustentável de energia e uso de biodigestor para gerar gás de cozinha, foi possível indicar que o impacto da solução torna o processo de obtenção de recursos energéticos mais simples, pois a reutilização de resíduos para gerar gás de cozinha necessita apenas dos próprios recursos disponíveis no ambiente familiar além de cessar o uso de recursos não renováveis. A geração de energia através de placas fotovoltaicas garantem o acesso à eletricidade, permitindo de forma mais cômoda a comunicação e informação, através dos meios eletrônicos.

Outro ponto importante são os meios de obtenção de renda que se tornam mais vantajosos devido a possibilidade de ligar equipamentos para o artesanato que necessitam de maior potência para funcionar. Por fim, o uso de sistemas de energia renovável possibilita que a residência se torne independente em relação ao óleo diesel, tanto por questões econômicas, tendo em vista que o combustível possui custo elevado quanto no impacto para saúde das pessoas pois a exposição ao recurso pode causar graves doenças pulmonares e oculares.

Portanto, a viabilização de projetos que visam a geração de energia, tanto elétrica quanto de biogás, nas comunidades isoladas da Amazônia é um tópico necessário para que seja desen-

volvido diferentes soluções para contornar a falta de acesso à rede elétrica e substituir o uso de não renováveis para preparação dos alimentos. A implantação de projetos com recursos renováveis confirmam os dados de estudos que demonstram o potencial de geração energética em regiões remotas através da favorável incidência solar e por acesso a resíduos orgânicos. Deste modo, é importante destacar que o desenvolvimento de projetos em comunidades isoladas apresentam dificuldades, principalmente com relação ao acompanhamento da instalação com visitas regulares, pois é necessário um planejamento para a viagem e custo do combustível. Como resultado, no ano de 2022 foi possível realizar apenas duas visitas, afetando na obtenção de resultados e análise de problemas. Por fim, o presente estudo contribuiu para que sejam constatados as particularidades das zonas rurais da região amazônica na busca da garantia de acesso à geração de energia por meios mais eficientes, limpos e seguros.

# 5 Considerações Finais

O capítulo final tem como objetivo explicitar sobre o atendimento dos objetivos propostos no trabalho, apresentar de forma sucinta os resultados obtidos por meio da metodologia empregada e indicar o fechamento do trabalho desenvolvido.

## 5.1 Conclusão

O estudo de caso desenvolvido teve como objetivo relatar a implementação e o uso do sistema solar fotovoltaico para a geração de eletricidade e a implementação e uso do biodigestor HomeBiogás 7.0 para geração de gás de cozinha em uma residência da comunidade Três Unidos, área rural da cidade de Manaus. Os objetivos foram trabalhados de forma que o estudo de projetos com uso de energias renováveis em regiões isoladas fossem consultados, a exemplo do projeto Hybrid Microgrid, que propõe a utilização de microrredes híbridas utilizando energia solar e biomassa.

O estudo em questão além de contribuir com o entendimento das características da região para escolher o melhor método de geração, também fez parte da contribuição para o investimento do projeto na comunidade Três Unidos a partir do financiamento feito pela Universidade de Sheffield com apoio da Universidade Federal do Amazonas e Universidade Federal de Minas Gerais. Além das consultas bibliográficas, foram realizadas visitas de campo para instalação dos dois sistemas na residência e também a entrevista com o morador responsável para compreender a situação familiar na moradia e constatar como o projeto impactou os moradores.

Através da metodologia utilizada foi possível atender aos objetivos específicos definidos para o trabalho. No primeiro objetivo, pretendia-se descrever a casa atendida e a comunidade Três Unidos. A partir da pesquisa e entrevista foi possível traçar o perfil de regiões isoladas e seu impacto na geração de energia como apresentado na Seção 4.1. Com relação ao segundo objetivo, para descrever o projeto do sistema solar fotovoltaico foi apresentado em etapas o dimensionamento e o processo de implementação durante as atividades de campo como descrito na Seção 4.2. O mesmo foi aplicado para descrever o projeto do sistema de biogás, utilizado como base os dados do fabricante do biodigestor para indicar o desenvolvimento de montagem de todo o sistema para gerar gás de cozinha e biofertilizante.

Com relação à geração e consumo de energia solar fotovoltaica, foi apontado os indicadores do inversor e a relação dos principais aparelhos utilizados diariamente que confirma o atendimento do sistema para o consumo mensal da residência na Seção 4.4. Para o sistema de biogás foi realizado o relato do uso de biomassa e a geração de gás de cozinha ao realizar a alimentação diária do biodigestor com resíduos orgânicos, atendendo ao objetivo como apontado

na Seção 4.5. Por fim, para descrever o impacto da solução para os moradores foi utilizado a observação e análise dos dados da entrevista, indicando os pontos que trazem benefícios aos moradores ao possuir um sistema de geração de energia elétrica e biogás na Seção 4.6.

O referencial teórico aponta os conceitos necessários para entendimento do cenário que motivou o projeto e da compreensão das ferramentas e tecnologias utilizadas na implementação dos sistemas solar e de biogás. Nos resultados foi possível compreender os aspectos da residência e da comunidade, como elas estão inseridas no contexto apresentado como problemática do estudo de caso. Além disso, foi possível verificar o processo de implementação de cada um dos sistemas e como em conjunto eles impactam e trazem vantagens para o uso residencial isolado.

Após a apresentação dos resultados também foi identificado algumas limitações do estudo, que sendo trabalhadas no decorrer do projeto podem melhorar a visualização das informações de eficiência dos sistemas solar e de biogás. Primeiro, a utilização do módulo wi-fi para o monitoramento do sistema solar fotovoltaico através do celular ou site possibilitaria uma melhor demonstração dos dados de geração elétrica e possíveis falhas. E no sistema de biodigestor, o relato de problemas na visualização da geração de biogás impactou a apresentação de dados.

Portanto, o estudo conclui que para contornar a problemática da falta de fornecimento de energia pela rede e desafios para utilização de energéticos na preparação de alimentos em residência isolada é necessária a busca por investimentos em projetos voltados à implantação de energias renováveis e limpas nas comunidades isoladas, melhorando a qualidade de vida e aumentando a chance de desenvolvimento sustentável nessas regiões.

## 5.2 Trabalhos Futuros

Com base nas discussões apresentadas e os resultados obtidos, sugere-se como complemento para trabalhos futuros: análise e estudo do impacto do sistema solar fotovoltaico conectado a baterias com o objetivo de fornecer energia elétrica de forma contínua; incluir o módulo Wi-fi/GPRS visando o monitoramento completo do sistema, possibilitando analisar a eficiência de geração e falhas; realizar a eletrificação de segunda residência com o sistema solar implementado conforme a possibilidade de atender ao consumo mensal dos moradores e reaplicar o questionário de avaliação no morador, para que se consiga mensurar os impactos alcançados. Além disso, uma sistemática melhor de alimentação do biodigestor (e de anotação, para evitar incorreções ou a ideia de que a família está deixando de se alimentar para poder produzir gás no biodigestor) e do controle de uso do biogás se faz necessário para avaliação do impacto na economia de gás de cozinha da residência.

# Referências

- ALDERTON, S. *Hybrid Micro-grid with Bioenergy and Solar PV for Rural Electrification in Mipindiaú*. Dissertação (Mestrado), 2020.
- AMAZÔNIA, V. *Comunidade Indígena Três Unidos*. 2020. Url <https://www.viveramazonia.com/três-unidos-1>.
- ANEEL. *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. 2008. Url [http://www.fisica.net/energia/atlas\\_de\\_energia\\_eletrica\\_do\\_brasil\\_3a\\_ed.pdf](http://www.fisica.net/energia/atlas_de_energia_eletrica_do_brasil_3a_ed.pdf).
- ANTUNES, P. d. B. *Direito ambiental*. [S.l.]: Atlas, 2021. ISBN 9788597027389.
- BARBOSA, G.; LANGER, M. Uso de biodigestores em propriedades rurais: uma alternativa à sustentabilidade ambiental. *Unoesc Ciência - ACSA*, v. 2, p. 87–96, 2011.
- BEATRIZ, P.; REBOLLAR, M.; RODRIGUES, P.; GUERRA, J. B. A.; YOUSSEF, Y. *Energia Solar*. [S.l.: s.n.], 2011.
- BRASIL, C. F. *Análise técnico-econômica e de eficiência dos principais tipos de baterias utilizadas em sistemas fotovoltaicos isolados*. 2018. Monografia (Bacharel em Engenharia Elétrica), UEA, Manaus, Brasil.
- CARI, E. P. T. *Introdução à Sistemas Fotovoltaicos, Dimensionamento e Instalação*. São Carlos: Universidade de São Paulo - USP, 2020.
- CASTANHO, D. S.; ARRUDA, H. J. Biodigestores. In: VI SEMANA DE TECNOLOGIA EM ALIMENTOS. [S.l.], 2008.
- DOTTO, R. B.; WOLFF, D. B. Biodigestão e produção de biogás utilizando dejetos bovinos. 2012.
- ELETROBRAS. *Especificações Técnicas dos Programas para Atendimento às Regiões Remotas dos Sistemas Isolados no âmbito do Programa Luz para Todos*. Ministério de Minas e Energia, 2017.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021*. [S.l.], 2021.
- FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. *Análise da Matriz Energética e da promoção da Energia Renovável no Setor Elétrico Brasileiro*. [S.l.], 2016.
- IMHOFF, J. *Desenvolvimento De Conversores Estáticos Para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos*. Dissertação (Mestrado), 2007.
- JUNIOR, J.; PEREIRA, J.; LIRA, R. Sistema individual de energia elétrica com fonte intermitente fotovoltaico off grid implantada em uma habitação ribeirinha no município de manacapuru - am. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, p. 118458–118475, 12 2021.
- KALOGIROU, S. *Solar energy engineering: Processes and systems: Second edition. Solar Energy Engineering: Processes and Systems: Second Edition*, 01 2009.

- MORAIS, J. M. d. *Impactos das energias solar e eólica na demanda de baterias de lítio*. 2020. Artigo, IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada).
- OLIVEIRA, R. P. d. *Bancada didática para sistema fotovoltaico off-grid*. 2019. Monografia (Bacharel em Engenharia de Controle e Automação), UFOP (Universidade Federal de Ouro Preto), Ouro Preto, Brasil.
- ONU, N. U. B. *Relatório estima que 8% da população não terá acesso à energia em 2030*. 2022. Url<https://brasil.un.org/pt-br/184580-relatorio-estima-que-8-da-populacao-nao-tera-acesso-energia-em-2030>.
- OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. *Plano Anual da Operação Energética Dos Sistemas Isolados Para 2021*. Rio de Janeiro, 2020.
- PINHO, J.; BARBOSA, C.; PEREIRA, E.; SOUZA, H.; BLASQUES, L.; GALHARDO, M.; MACÊDO, W. Tecnologias de energias renováveis - soluções energéticas para a amazônia. capítulo 1: Sistemas híbridos. In: \_\_\_\_\_. [S.l.: s.n.], 2008. p. 16–39. ISBN 978-85-98341-06-4.
- PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Rio de Janeiro, 2014.
- PIRES, B.; SANTOS, C. L. d. *Eletrificação rural utilizando energia solar fotovoltaica*. 2017. Monografia (Bacharel em Engenharia Elétrica), UNIP (Universidade Paulista), Brasília, Brasil.
- PRATI, L. Geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por biodigestores. 2010.
- RIBEIRO, T. Implementação de sistemas fotovoltaicos em comunidades isoladas: reflexões sobre entraves encontrados. *Revista Brasileira de Energia*, 01 2009.
- SEVERINO, M. M.; OLIVEIRA, M. A. G. d. *Fontes e tecnologias de geração distribuída para atendimento a comunidades isoladas*. [S.l.: s.n.], 2010.
- SOUZA, R. Alves de. Uso do biodigestor como tecnologia social para produção de gás de cozinha. 2020.
- ULIANA, I. A. Cabeamento de sistemas solares fotovoltaicos. *Revista Fotovolt*, v. 3, p. 50–55, 2018.
- VASCONCELOS, L. B. d. *Estratégias de armazenamento de energia com baterias para atender um consumidor do grupo A no horário de ponta*. 2022. Monografia (Bacharel em Engenharia Elétrica), UFC (Universidade Federal do Ceará), Fortaleza, Brasil.
- VILLALVA, M. G. *Energia Solar Fotovoltaica - Conceitos e Aplicações - Sistemas Isolados e Conectados à Rede*. 1. ed.. ed. São Paulo: Editora Érica, 2012.
- WWF. *Sem acesso à luz ou à água: a realidade de quem vive sem energia na Amazônia*. 2020. Url<https://www.wwf.org.br/?76442/Sem-acesso-a-agua-ou-luz-documentario-do-WWF-Brasil-mostra-a-realidade-de-quem-vive-sem-energia-na-Amazonia>.
- ZANANDRÉA, V. *Análise do uso da tecnologia de biodigestores para fins energéticos em propriedades rurais*. 2010. Monografia (Bacharel em Engenharia Ambiental), UNISEP, Paraná, Brasil.

# **Anexos**

# ANEXO A – Questionário para morador



Projeto STAR Energy: Sustainable and Replicable Off-grid Renewable Energy System for Riverside Communities in the Amazon, Brazil

## Questionário Q1 – MORADOR

Nome da comunidade: \_\_\_\_\_

Pesquisador: \_\_\_\_\_

Dia e hora da visita: \_\_\_\_\_

LOTE número/identificação: \_\_\_\_\_ ( ) Sem Identificação

Morador: ( ) Permanente ( ) Eventual (Quantos dias por mês? \_\_\_\_\_)

Se não foi possível aplicar o questionário: ( ) Fechado ( ) Abandonado ( ) Não quis responder

Coordenadas de GPS: S \_\_\_\_\_° \_\_\_\_\_' \_\_\_\_\_" W \_\_\_\_\_° \_\_\_\_\_' \_\_\_\_\_"

### Parte I. IDENTIFICAÇÃO DO MORADOR

Nome completo: \_\_\_\_\_

1. Sexo ( ) M ( ) F

2. Idade

( ) 15 a 25

( ) 46 a 55

( ) 26 a 36

( ) 56 ou mais

( ) 37 a 45

3. Estado Civil

( ) Solteiro

( ) Outra união

( ) Casado

( ) Separado

4. Escolaridade

( ) Não sabe ler

( ) Completou o curso superior

( ) Sabe ler e escrever

( ) Ensino fundamental incompleto

( ) Completou o ensino fundamental

( ) Ensino médio incompleto

( ) Completou o ensino médio

5. Tempo de residência na localidade

Sempre morou ( ) Mais de 10 anos: \_\_\_\_\_ Menos de 10 anos: \_\_\_\_\_

6. Existe pretensão de mudar de localidade? ( ) Sim ( ) Não

7. Em caso afirmativo qual a razão: \_\_\_\_\_

### Parte II. IDENTIFICAÇÃO DO IMÓVEL

Obs: Tirar fotografia externa da residência.

8. Moradia

( ) Própria

( ) Mora junto com outra família

( ) Alugada

( ) Outro \_\_\_\_\_

9. Quantidade de cômodos (marcar com asterisco os cômodos externos)

Com Sem  
eletricidade eletricidade

( )

( )

Sala

Com Sem  
eletricidade eletricidade

( )

( )

Quarto

( )

( )

Cozinha

( )

( )

Banheiro

( )

( )

Outro: \_\_\_\_\_



Projeto STAR Energy: **Sustainable and Replicable Off-grid Renewable Energy System for Riverside Communities in the Amazon, Brazil**

10. Condições de moradia

- ( ) Madeira ( ) Mista  
( ) Alvenaria ( ) Outro

11. Tipo de material utilizado na cobertura

- ( ) Zinco ( ) Palha  
( ) Telha de barro ( ) Telha de amianto  
( ) Outro \_\_\_\_\_

12. Estado de conservação:

- ( ) Precisando de reparos ( ) Bom ( ) Ótimo

**Parte III. ESTRUTURA FAMILIAR VIVENDO NA MORADIA E SUA EDUCAÇÃO**

Número de pessoas		Homens	Mulheres	Homens	Mulheres	
		Na moradia		Estudando		
Quantos até 5 anos?	Q13					Q19
Quantos entre 5 e 10 anos?	Q14					Q20
Quantos entre 11 e 15 anos?	Q15					Q21
Quantos entre 16 e 20 anos?	Q16					Q22
Quantos entre 21 e 40 anos?	Q17					Q23
Quantos acima de 40 anos?	Q18					Q24

25. Há criança em idade escolar (entre 5 e 13 anos) que não vai à escola? ( ) sim ( ) não

26. Qual o motivo? \_\_\_\_\_

**Parte IV . ATIVIDADES PRODUTIVAS**

27. Que atividades produtivas são realizadas? \_\_\_\_\_

28. Qual a principal? \_\_\_\_\_

29. Quantos contribuem para a renda mensal da família? \_\_\_\_\_

30. Qual a renda mensal da família?

- ( ) Até um SM ( ) Entre 5 e 10 SM  
( ) Entre 1 e 2 SM ( ) Entre 10 e 20 SM  
( ) Entre 2 e 5 SM ( ) Acima de 20 SM

31. Família tem Criação de animais? Quais? \_\_\_\_\_

32. A família tem Plantação? (verdura, grãos ou raízes – feijão, macaxeira, etc.) \_\_\_\_\_

33. A família tem Fruteiras? \_\_\_\_\_

34. Que equipamentos elétricos são utilizados para desenvolver atividade no trabalho? \_\_\_\_\_

35. Quais as dificuldades para realização do trabalho? \_\_\_\_\_

36. A produção é comercializada? ( ) sim ( ) não

37. Se sim, de que forma? \_\_\_\_\_

**Parte V. ALIMENTAÇÃO**

38. Quantas refeições são feitas por dia? \_\_\_\_\_

39. Quantas pessoas se alimentam em casa diariamente? \_\_\_\_\_

40. Onde você cozinha normalmente? ( ) Não tem cozinha ( ) Cozinha externa ( ) Interna

41. Você utiliza chaminé ou outra forma de exaustão para retirada da fumaça do ambiente?

( ) Sim ( ) Não

42. Qual o tipo de fogão que você usa para preparar as refeições principais? \_\_\_\_\_

43. Como foi adquirido esse fogão (ganhou, comprou em alguma cidade, construiu)? \_\_\_\_\_

44. Quanto foi pago ou gasto nesse fogão? \_\_\_\_\_



Projeto STAR Energy: **Sustainable and Replicable Off-grid Renewable Energy System for Riverside Communities in the Amazon, Brazil**

**PARTE VI. SAÚDE**

45. No último mês, algum morador da residência sofreu de alguma doença respiratória?  
 Não soube dizer    Não quis informar    Sim (qual doença? \_\_\_\_\_)

46. No último mês, algum morador da residência sofreu de irritação nos olhos ou outro problema na visão?  
 Não soube dizer    Não quis informar    Sim (qual doença? \_\_\_\_\_)

47. No último mês, algum morador da residência sofreu alguma queimadura resultante de fazer comida, uso de material aquecido ou do manuseio de combustíveis?  
 Não soube dizer    Não quis informar    Sim (detalhe? \_\_\_\_\_)

48. No último mês, algum morador da residência sofreu de diarreia?  
 Não soube dizer    Não quis informar    Sim

**PARTE VII. NECESSIDADES E ASPIRAÇÕES**

49. Quais são as necessidades mais importantes para você hoje? (coloque em ordem de preferência. Começando com o número 1, indo até o 10 e preenchendo todos os campos)

- Água (disponibilidade e/ou potabilidade)
- Condições sanitárias (banheiros com descarte correto de dejetos)
- Transporte
- Eletricidade
- Habitação
- Emprego e trabalho permanente
- Programa de geração de renda para a comunidade
- Postos de saúde
- Escola/Educação
- Proteção contra alagações/tempestades

**PARTE VIII. LEVANTAMENTO ENERGÉTICO**

50. Quais dos seguintes energéticos você utiliza?

- Lenha    GLP ( gás de cozinha)    Carvão    Bateria    Pilha Pequena    Pilha Média    Pilha Grande    Óleo diesel    Gasolina    Querosene    Vela
- Energia elétrica    Outros \_\_\_\_\_

51. Qual a finalidade do uso do(s) energético(s) citado(s) ?

- Lenha: \_\_\_\_\_
- GLP: \_\_\_\_\_
- Carvão: \_\_\_\_\_
- Bateria: \_\_\_\_\_
- Pilha pequena: \_\_\_\_\_
- Pilha média: \_\_\_\_\_
- Pilha grande: \_\_\_\_\_
- Óleo diesel: \_\_\_\_\_
- Gasolina: \_\_\_\_\_
- Querosene: (se para lamparina, pedir o modelo de lamparina usado, a quantidade e o número de horas por dia que é usado) \_\_\_\_\_
- Vela: \_\_\_\_\_
- Energia elétrica: \_\_\_\_\_

52. Qual o consumo mensal do(s) energético (s) citado(s) acima?

- Lenha: \_\_\_\_\_ kg   GLP: \_\_\_\_\_ kg   Carvão: \_\_\_\_\_ kg   Bateria: \_\_\_\_\_ Unid.
- Pilha pequena: \_\_\_\_\_ Unid.   Pilha média: \_\_\_\_\_ Unid.   Pilha grande: \_\_\_\_\_ Unid.
- Óleo diesel: \_\_\_\_\_ Litros   Gasolina: \_\_\_\_\_ Litros   Querosene: \_\_\_\_\_ Litros
- Vela: \_\_\_\_\_ Unid.   Energia elétrica: \_\_\_\_\_ kWh



---

Projeto STAR Energy: **Sustainable and Replicable Off-grid Renewable Energy System for Riverside Communities in the Amazon, Brazil**

53. Qual o valor de compra do(s) energético (s) citado(s)? Onde compra e como transporta

Lenha: \_\_\_\_\_

GLP: \_\_\_\_\_

Carvão: \_\_\_\_\_

Bateria: \_\_\_\_\_

Pilha pequena: \_\_\_\_\_

Pilha média: \_\_\_\_\_

Pilha grande: \_\_\_\_\_

Óleo diesel: \_\_\_\_\_

Gasolina: \_\_\_\_\_

Querosene: \_\_\_\_\_

Vela: \_\_\_\_\_

Energia elétrica: \_\_\_\_\_

54. Quanto foi gasto na principal fonte de energia elétrica no mês passado?

( ) R\$ \_\_\_\_\_ ( ) Não sabe ( ) Não tem energia elétrica

#### PARTE IX. DEMANDA ELÉTRICA

55. Anotar a CARGA existente na unidade consumidora (quantidade e especificação):

(Obs1: levar em consideração apenas o que está instalado no local)

(Obs2: as potências dos aparelhos serão definidas a partir de uma tabela padrão)

Lâmpadas (quantidade/tipo/potência/horário de uso) \_\_\_\_\_

Rádio/SOM (quantidade e tipo) \_\_\_\_\_

Televisão (quantidade, tamanho e tipo) \_\_\_\_\_

Receptor de satélite (quantidade) \_\_\_\_\_

Bomba d'água (quantidade de potência) \_\_\_\_\_

Geladeira/Freezer (quantidade e capacidade em litros): \_\_\_\_\_

Ventilador (quantidade): \_\_\_\_\_

Liquidificador (quantidade): \_\_\_\_\_

Condicionador de ar (quantidade e potência): \_\_\_\_\_

Outros (tipo e quantidade de cada) \_\_\_\_\_

56. Se houvesse disponibilidade de mais eletricidade, que aparelhos adicionais seriam adquiridos e usados regularmente (quantidade e especificação):

Lâmpadas (quantidade/tipo/potência) \_\_\_\_\_

Rádio/SOM (quantidade e tipo) \_\_\_\_\_

Televisão (quantidade, tamanho e tipo) \_\_\_\_\_

Receptor de satélite (quantidade) \_\_\_\_\_

Bomba d'água (quantidade de potência) \_\_\_\_\_

Geladeira/Freezer (quantidade e capacidade em litros): \_\_\_\_\_

Ventilador (quantidade): \_\_\_\_\_

Liquidificador (quantidade): \_\_\_\_\_

Condicionador de ar (quantidade e potência): \_\_\_\_\_

Outros (tipo e quantidade de cada) \_\_\_\_\_



Projeto STAR Energy: **Sustainable and Replicable Off-grid Renewable Energy System for Riverside Communities in the Amazon, Brazil**

Com relação as seguintes fontes de energia:

(não existe resposta certa ou errada aqui. A ideia é captar a opinião do entrevistado)

Luz para Todos	Lenha	Carvão	Gás GLP	Querosene	Diesel	Outro (especificar)
----------------	-------	--------	---------	-----------	--------	---------------------

57 Na sua opinião, a fonte está disponível na sua comunidade?

--	--	--	--	--	--	--

(S/N)

58 Na sua opinião, a fonte é cara na sua comunidade?

--	--	--	--	--	--	--

(S/N)

59 Na sua opinião, a fonte causa problemas de saúde?

--	--	--	--	--	--	--

(S/N)

60 Na sua opinião, o uso da fonte é seguro em sua comunidade?

--	--	--	--	--	--	--

(S/N)