



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

YAN VICTOR VILHENA RODRIGUES

**ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA DO USO DE UM SISTEMA  
FOTOVOLTAICO ISOLADO PARA IRRIGAÇÃO DE AÇAÍ NO QUILOMBO DE  
UMARIZAL – BAIÃO – PA**

TUCURUÍ-PA

2025

YAN VICTOR VILHENA RODRIGUES

**ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA DO USO DE UM SISTEMA  
FOTOVOLTAICO ISOLADO PARA IRRIGAÇÃO DE AÇAÍ NO QUILOMBO DE  
UMARIZAL – BAIÃO – PA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como  
requisito parcial para obtenção de grau de Bacharel  
em Engenharia Elétrica, pela Universidade Federal  
do Pará – Campus Tucuruí,

Orientador:

Prof. Dr. Ewerton Ramos Granhen

TUCURUÍ-PA

2025

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará**  
**Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

---

R696a Rodrigues, Yan Victor Vilhena.  
ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA DO USO DE  
UM SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO PARA  
IRRIGAÇÃO DE AÇAÍ NO QUILOMBO DE UMARIZAL -  
BAIÃO - PA / Yan Victor Vilhena Rodrigues. — 2025.  
81 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Ewerton Ramos Granhen  
Trabalho de Conclusão (Graduação) - Universidade Federal do  
Pará, Campus Universitário de Tucuruí, Faculdade de Engenharia  
Elétrica, Tucuruí, 2025.

1. Sistema fotovoltaico. 2. Irrigação. 3. Viabilidade  
financeira. 4. Índices financeiros. 5. Quilombo de Umarizal. I.  
Titulo.

CDD 621.31244

---

YAN VICTOR VILHENA RODRIGUES

**ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA DO USO DE UM SISTEMA  
FOTOVOLTAICO ISOLADO PARA IRRIGAÇÃO DE AÇAÍ NO QUILOMBO DE  
UMARIZAL – BAIÃO – PA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como  
requisito parcial para obtenção de grau de Bacharel  
em Engenharia Elétrica, pela Universidade Federal  
do Pará – Campus Tucuruí,

Data da aprovação: 27/06/2025

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Ewerton Ramos Granhen  
Orientador – FEE/CAMTUC/UFPA

---

Prof. Dr. Bernard Carvalho Bernardes  
Avaliador Interno – FEE/CAMTUC/UFPA

---

Prof. Dr. Raphael Barros Teixeira  
Avaliador Interno – FEE/CAMTUC/UFPA

TUCURUÍ-PA

2025



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUI

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC) N° 2 / 2025 - CTUCU (11.16)

N° do Protocolo: 23073.047974/2025-65

Tucuruí-PA, 27 de junho de 2025.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ <b>CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUI</b> <b>FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA</b>
---

**TÍTULO:**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA DO USO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO PARA IRRIGAÇÃO DE AÇAI NO QUILOMBO DE UMARIZAL – BAIÃO – PA**

**DISCENTE: YAN VICTOR VILHENA RODRIGUES**

**MATRÍCULA: 201633940027**

#	BANCA EXAMINADORA	CONDIÇÃO
1	<i>Prof. Dr. Ewerton Ramos Granhen, FEE/CAMTUC/UFPA</i>	Orientador
2	<i>Prof. Dr. Raphael Barros Teixeira, FEE/CAMTUC/UFPA</i>	Membro
3	<i>Prof. Me. Bernard Carvalho Bernardes, FEE/CAMTUC/UFPA</i>	Membro

<b>Data da Defesa: 27/06/2025</b>	<b>Hora Início: 09:01</b>	<b>Hora Término: 09:36</b>
-----------------------------------	---------------------------	----------------------------

Trabalho Escrito (0 a 10 pontos por critério)	Examinador 1	Examinador 2	Examinador 3
Formatação	9,5	9,5	9,5
Linguagem (gramática e semântica)	10,0	9,5	10,0
Conteúdo técnico	9,5	9,0	9,5

Defesa Oral (0 a 10 pontos por critério)	Examinador 1	Examinador 2	Examinador 3
--	--------------	--------------	--------------

Sequência lógica de apresentação	9,5	9,5	10,0
Administração do tempo	10,0	10,0	10,0
Expressão oral	10,0	10,0	10,0
Domínio do tema	10,0	10,0	10,0

<b>Média por examinador</b>	<b>9,8</b>	<b>9,6</b>	<b>9,9</b>
<b>Média Final</b>	<b>9,8</b>		
<b>Conceito Final</b>	<b>EXCELENTE</b>		

Tucuruí-PA, 27/06/2025.

(Assinado digitalmente em 27/06/2025 17:33 )  
 BERNARD CARVALHO BERNARDES  
 PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
 CTUCU (11.16)  
 Matrícula: ###320#1

(Assinado digitalmente em 27/06/2025 11:42 )  
 EWERTON RAMOS GRANHEN  
 PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
 CTUCU (11.16)  
 Matrícula: ##081#9

(Assinado digitalmente em 27/06/2025 16:33 )  
 RAPHAEL BARROS TEIXEIRA  
 PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
 CTUCU (11.16)  
 Matrícula: ##056#9

Visualize o documento original em <https://sipac.ufpa.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: 2, ano: 2025, tipo: ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC), data de emissão: 27/06/2025 e o código de verificação: 2cc4f2845d

Dedico este trabalho a minha família e amigos(as),  
em especial a meu avô Domingos Machado e Silva  
Vilhena (In memoriam).

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ser presença constante em minha vida, por cada dia de vida que tem me proporcionado e por me conceder saúde física e mental para a conclusão desse ciclo de aprendizado e conquista.

Aos meus pais Rosena Bendelaque Vilhena, Ivanildo Dos Santos Rodrigues e Marcos Adriano Medeiros Damasceno, por todo o trabalho árduo e incentivo a minha formação, sempre preocupados com meu bem-estar e fazendo tudo para que meus irmãos e eu, tivéssemos toda a estrutura necessária para o nosso aprendizado, minha eterna gratidão a vocês.

Aos meus irmãos e irmãs: Matheus Rodrigues, Yanca Rodrigues, Railson Damasceno, Marcela Damasceno, Jeniffer Damasceno e Izabella Damasceno por estarem presentes todas as vezes que precisei renovar minhas energias.

Aos meus avôs e avós que eu amo muito e sou muito grato por tê-los em minha vida, e a meu avô Domingos Vilhena, que não está aqui fisicamente para me ver como engenheiro, mas que acompanha, protege e intercede por nossa família junto a Virgem Maria e de Deus Pai.

Aos meus tios, tias, primos e primas, que cada um à sua maneira esteve presente nos principais momentos da minha vida e sempre se preocuparam genuinamente com minha saúde ao longo dessa jornada.

Aos dois irmãos que o curso de engenharia elétrica me proporcionou, Fabrício Melo Souza e José Antônio Gonçalves de Moraes, obrigado por me adotarem como irmão e me integrarem as suas famílias enquanto eu estava longe da minha.

Aos meus amigos e amigas, em especial a Jhennifer Santos da Cruz, Heloísa de Cássia Serrão Ferreira dos Santos e Marília Gabriela Serrão da Silva, obrigado pela paciência e companheirismo.

Aos meus colegas de turma, com os quais eu dividir muitas aventuras e desafios nessa formação.

Ao meu orientador Dr. Ewerton Granhen, pela disponibilidade de tempo para me ajudar a concluir este trabalho.

A banca examinadora pelas considerações, correções e empenho na colaboração e julgamento deste trabalho.

A Universidade Federal do Pará por essa oportunidade de formação, pela estrutura disponibilizada e por todo o apoio técnico ao longo do curso.

*“A ciência é, portanto, uma perversão de si mesma, a menos que tenha com fim último, melhorar a humanidade.”*

*(Nikola Tesla)*

## RESUMO

Esta monografia apresenta uma análise de viabilidade financeira de um sistema fotovoltaico isolado (SFI) dimensionado para irrigação açaí em uma propriedade no Quilombo de Umarizal, município de Baião no Pará. A propriedade avaliada não dispõe de energia elétrica fornecida por redes de distribuição, e o sistema fotovoltaico dimensionado visa suprir exclusivamente uma motobomba submersa de 1 Cv e uma motobomba centrífuga 1/2 Cv que foram selecionadas para esse estudo com base em dados coletados na propriedade. O dimensionamento das bombas d'água e conseqüentemente do sistema fotovoltaico foi realizado considerando o quantitativo de 320 plantas de açaí com consumo de 100 litros de água por planta e a irradiação solar considerada no local foi de 4,48 KWh/m<sup>2</sup>. No dimensionamento do sistema gerador, determinou-se a necessidade de 6 modulo fotovoltaico de 600 W do fabricante Era Solar, ligados em série, resultando em uma potência nominal de 3600 Wp no sistema e capacidade de geração energética diária de 16,11 KWh/dia. Para a análise dos resultados, calculou-se um investimento inicial de R\$ 12.645,18 para compra das motobombas, inversor de frequência, módulos fotovoltaicos, cabos e instalação do sistema fotovoltaico. E usando a tarifa do quilowatt-hora fixada em 0,93845 R\$/KWh para zona rural no Estado do Pará em 2025, com a previsão de aumento anual de 5,6 % no custo da energia, e uma estimativa de degradação anual de 0,55% na capacidade de geração dos módulos. Desenvolveu-se uma tabela no software Excel para avaliar a viabilidade econômica do projeto no período de 25 anos por meio de índices financeiros. Utilizando como comparativo dois cenários, o primeiro com o investimento sendo feito pela proprietária e o segundo por meio de um financiamento do Pronaf Bioeconomia. De modo que, no Cenário 1 para uma TMA de 14,83%, os resultados observados foram um VPL de positivo de R\$ 10.515,56, uma TIR de 24%, que é maior que a taxa mínima de atratividade, e um *payback* de 5 anos e 5 meses.

Enquanto no Cenário 2 para a mesma TMA de 14,83% os resultados observados foram um VPL de positivo de R\$ 3.004,62, uma TIR de 17%, que também é maior que a taxa mínima de atratividade, e um *payback* de 8 anos e 11 meses. Com isso, concluiu-se que o investimento nesse projeto fotovoltaico se mostra financeiramente viável tanto com investimento direto, quanto por meio de financiamento do PRONAF.

**Palavras-chave:** Sistema fotovoltaico; Irrigação; Viabilidade financeira; Índices financeiros; Quilombo de Umarizal.

## ABSTRACT

This monograph presents an analysis of the financial viability of an isolated photovoltaic system designed for açai irrigation on a property in Quilombo de Umarizal, in the municipality of Baião, Pará. The property evaluated does not have electricity supplied by distribution networks, and the photovoltaic system designed is intended to exclusively supply a 1 hp submersible motor pump and a 1/2 hp centrifugal motor pump, which were selected for this study based on data collected on the property. The sizing of the water pumps and, consequently, the photovoltaic system was carried out considering the quantity of 320 açai plants with a consumption of 100 liters of water per plant and the solar irradiation considered at the site was 4.48 KWh/m<sup>2</sup>. When sizing the generating system, it was determined that 6 photovoltaic modules from 600 W the manufacturer Era Solar were needed, connected in series, resulting in a nominal power of 3600 Wp in the system and a daily energy generation capacity of 16.11 KWh/day. To analyze the results, an initial investment of R\$12,645.18 was calculated for the purchase of motor pumps, frequency inverter, photovoltaic modules, cables and installation of the photovoltaic system. And using the kilowatt-hour tariff set at 0.93845 R\$/KWh for rural areas in the state of Pará in 2025, with a forecast annual increase of 5.6% in the cost of energy, and an estimated annual degradation of 0.55% in the generation capacity of the modules. A table was developed in Excel software to assess the economic viability of the project over a 25-year period using financial indexes. Using two scenarios as a comparison, the first with the investment being made by the owner and the second with financing from Pronaf Bioeconomia. Therefore, in Scenario 1 for a MRA of 14.83%, the results observed were a positive NPV of R\$ 10,515.56, an IRR of 24%, which is greater than the minimum attractive rate, and a payback of 5 years and 5 months. While in Scenario 2 for the same MRA of 14.83% the results observed were a positive NPV of R\$ 3,004.62, an IRR of 17%, which is also higher than the minimum attractive rate, and a payback of 8 years and 11 months. As a result, it was concluded that investing in this photovoltaic project is financially viable, both with direct investment and through PRONAF financing.

**Keywords:** Photovoltaic system; Irrigation; Financial viability; Financial indexes; Quilombo de Umarizal.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Região de Integração Tocantins/Baixo Tocantins.....	25
Figura 2 – Território Remanescente do Quilombo de Umarizal, Baião - PA.....	26
Figura 3 – Célula, módulo e painel ou instalação fotovoltaica.....	28
Figura 4 – Estruturas moleculares dos semicondutores.....	29
Figura 5 – Semicondutores do tipo P e N: Separados; Unidos (Sem luz); Unidos (com luz). .....	30
Figura 6 – Representação de uma célula fotovoltaica. ....	31
Figura 7 – Representação de ligações internas em um módulo fotovoltaico. ....	34
Figura 8 – Ligação em série de três células/módulos fotovoltaicos. ....	34
Figura 9 – Ligação em paralelo de três células/módulos fotovoltaicos.....	35
Figura 10 – Curva característica de um módulo fotovoltaico.....	35
Figura 11 – Influência de fatores externos na operação do módulo fotovoltaicos: .....	37
Figura 12 – Sistema fotovoltaico conectado à rede. ....	38
Figura 13 – Sistema fotovoltaico isolado. ....	39
Figura 14 – Sistemas de bombeamento fotovoltaico.....	41
Figura 15 – Blocos de um SFI sem bateria para bombeamento de água.....	41
Figura 16 – Configurações utilizadas para sistemas de bombeamento fotovoltaico.....	43
Figura 17 – Concentração da energia solar diária em horas de sol pleno.....	44
Figura 18 – Mapa com a localização da propriedade (seta branca).....	52
Figura 19 – Esquema representativo da operação das motobombas. ....	53
Figura 20 – Seleção da motobomba submersa. ....	56
Figura 21 – Seleção da motobomba centrifuga. ....	56
Figura 22 – Seleção do inversor solar.....	58
Figura 23 – Tabela de consulta rápida para bitola de fios .....	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais tecnologias de células fotovoltaicas.....	32
Tabela 2 – Irradiação solar diária média mensal na região de Baião/PA. ....	54
Tabela 3 – Dados da propriedade e do sistema de irrigação.....	55
Tabela 4 – Dados da motobomba submersa. ....	56
Tabela 5 – Dados da motobomba centrifuga. ....	57
Tabela 6 – Energia consumida pelo sistema de bombeamento. ....	57
Tabela 7 – Dados do modulo fotovoltaico.....	58
Tabela 8 – Dados do inversor de frequência. ....	59
Tabela 9 – Estimativa de geração de energia mensal e anual.....	61
Tabela 10 – Orçamento do projeto. ....	64
Tabela 11 – Estimativa de economia no cenário 1. ....	65
Tabela 13 – Estimativa de economia no cenário 2. ....	67
Tabela 12 – Indicadores de viabilidade no cenário 1.....	70
Tabela 14 – Indicadores de viabilidade no cenário 2.....	71

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica

ACORQBU – Associação das Comunidades Remanescente de Quilombo de Umarizal Beira, Umarizal Centro, Boa Vista, Florestão e Paritá Miri

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

Art. – Artigo

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

CPV – Célula Fotovoltaica Multijunção e Célula Fotovoltaica para Concentração

CRESESB – Centro de Referência para as Energias Solar e Eólicas Sergio de Salvo Brito

DSSC – Células Sensibilizadas por Corante

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

GD – Geração Distribuída

HSP – Horas de Sol Pleno

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPCA – IP

LAFEA – Laboratório de Física Experimental e Aplicada

MDA – Ministério de Desenvolvimento Agrário

OPV – Células Orgânicas ou Poliméricas

PA – Pará

PAYBACK – Indicador do tempo de retorno de um investimento

PRONAF – Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura

SFCR – Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

SFI – Sistema Fotovoltaico Isolado

STC – Condições Padrões de Teste

TIR – Taxa Interna de Retorno

TMA – Taxa Mínima de Atratividade

VPL – Valor Presente Líquido

## LISTA DE SIMBOLOS

% – Porcentagem

§ – Paragrafo

°C – Graus Celsius

A – Ampere

a-Si – Silício amorfo ou Silício amorfo hidrogenado

B – Boro

CdTe – Telureto de cádmio

CIGS – Disseleneto de cobre índio e gálio

CIS – Disseleneto de cobre-índio

$C_t$  – Comprimento da tubulação

$C_v$  – Cavalo-vapor

$E_e$  – Energia elétrica necessária diariamente

$F_c$  – Fator de perda nas conexões

$F_D$  – Taxa de desempenho

$F_t$  – Fator de perda na tubulação

GaAS – Arsenieto de gálio

GW – Gigawatts

h – Hora

H – Irradiação Solar

ha – Hectare

$h_g$  – Altura geométrica

$H_m$  – Altura manométrica corrigida

$I_{MP}$  – Corrente no ponto máximo de potência

$I_N$  – Corrente máxima do inversor

$I_{SC}$  – Corrente de curto-circuito

J – Joules

Kg – Quilograma

Km – Quilômetro

$Km^2$  – Quilometro quadrado

KW – Quilowatt

KWh – Quilowatt-hora

KWp – Quilowatt-pico

Lp – Volume de água por planta

m – Metros

m.c.a – metros de coluna d'água

m<sup>2</sup> – Metro quadrado

m<sup>3</sup> – Metros Cúbicos

mm – Milímetro

m-Si – Silício monocristalino

MW – Megawatts

N<sup>o</sup> – Número

N<sup>o</sup><sub>Mmín</sub> – Número mínimo de módulos fotovoltaicos

N<sub>máx(série)</sub> – Limite máximo de módulos conectados em série

N<sub>mín(série)</sub> – Limite mínimo de módulos conectados em série

N<sub>p</sub> – Número de plantas

P – Fosforo

P<sub>FVmín</sub> – Potência mínima necessária diariamente

P<sub>M</sub> – Ponto máximo de potência

P<sub>Nm</sub> – Potência nominal de um módulo fotovoltaico

p-Si – Silício policristalino

Q<sub>d</sub> – Demanda de água na propriedade

Q<sub>mb</sub> – Vazão volumétrica da bomba

Rpm – Rotação por minuto

s – Segundo

Si – Silício

T<sub>máx</sub> – Temperatura máxima de operação no local

T<sub>mín</sub> – Temperatura mínima de operação no local

V – Volts

V<sub>cc</sub> – Tensão em corrente contínua

V<sub>INmáx</sub> – Tensão máxima admissível no barramento do inversor

V<sub>INmín</sub> – Tensão mínima admissível no barramento do inversor

$V_{MP}$  – Tensão no ponto máximo de potência

$V_{MP(stc)}$  – Tensão no ponto máximo de potencia do modulo em condições de teste

$V_{OC}$  – tensão de circuito aberto

$V_{OC(stc)}$  – Tensão de circuito aberto do módulo em condições de teste

$W$  – Watt

$Wh$  – Watt-hora

$Wp$  – Watt pico

$\beta_{MP}$  – Coeficiente de temperatura no ponto máximo de potência

$\beta_{Voc}$  – Coeficiente de temperatura em circuito aberto

$\eta_b$  – Eficiência da bomba

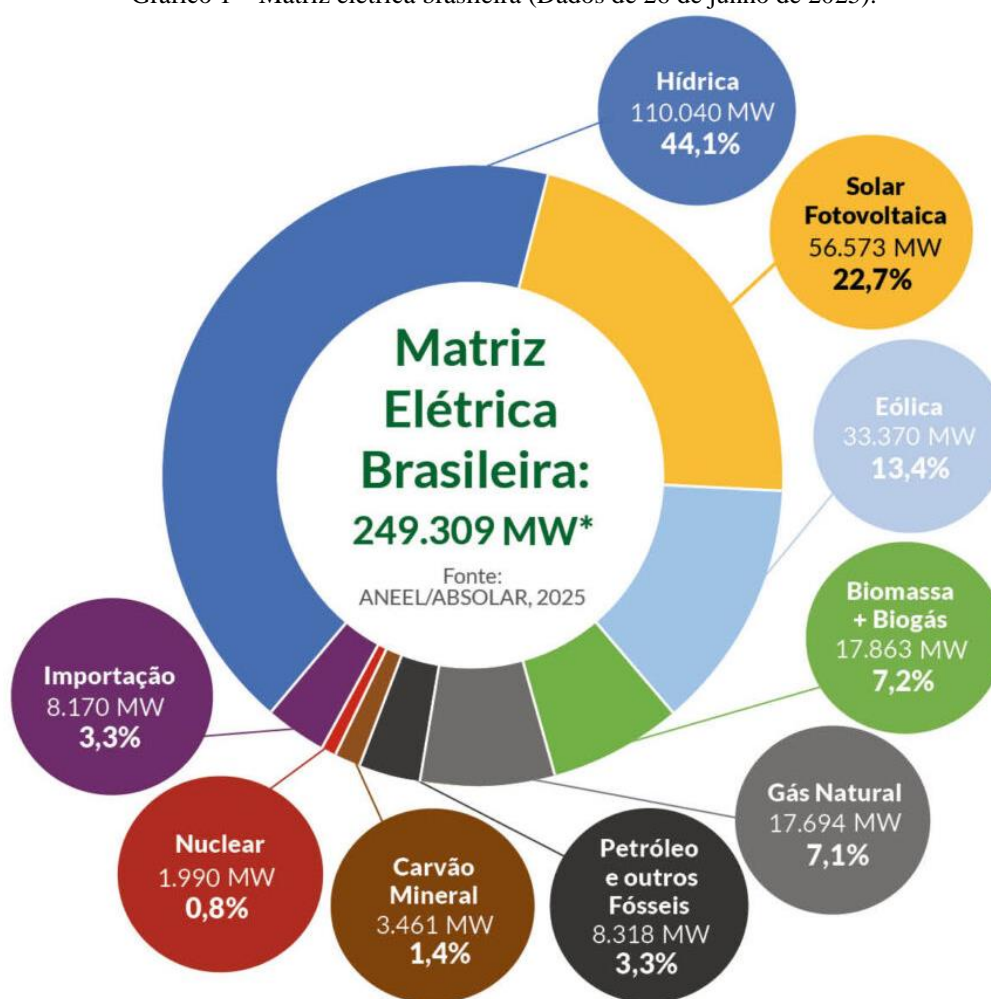
## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1	JUSTIFICATIVA.....	19
1.2	OBJETIVO GERAL.....	20
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>20</b>
1.3	ESCORPO DO TRABALHO .....	20
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>22</b>
2.1	AGRICULTURA FAMILIAR.....	22
<b>2.1.1</b>	<b>Agricultura familiar no Quilombo de Umarizal.....</b>	<b>24</b>
2.2	TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA .....	27
<b>2.2.1</b>	<b>Células fotovoltaicas.....</b>	<b>28</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Módulo fotovoltaico.....</b>	<b>33</b>
2.3	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	37
2.4	SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO PARA IRRIGAÇÃO.....	40
2.5	PROCESSO DE DIMENSIONAMENTO .....	43
<b>2.5.1</b>	<b>Validação da motobomba .....</b>	<b>43</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Sistema gerador fotovoltaico .....</b>	<b>46</b>
<b>2.5.3</b>	<b>Inversor de frequência .....</b>	<b>47</b>
<b>2.5.4</b>	<b>Número de módulo fotovoltaico .....</b>	<b>48</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>51</b>
3.1	ÁREA DE ESTUDO .....	52
3.2	ESTUDO DE CASO .....	54
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>62</b>
4.1	ORÇAMENTO.....	62
4.2	CENÁRIO 1 .....	64
4.3	CENÁRIO 2 .....	66
4.4	INDICADORES DE VIABILIDADE.....	68
4.5	VIABILIDADE DO PROJETO .....	70
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>73</b>
<b>6</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>74</b>

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) apresentados pela Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica, em 2025 a matriz brasileira com seus 249.309 megawatts (MW) instalados. Tem como principais fontes geradoras os sistemas hidroelétricos e os sistemas solar fotovoltaico, que somados fornecem mais de 65% dessa potência. Conforme mostrado no Gráfico 1 Absolar (2025).

Gráfico 1 – Matriz elétrica brasileira (Dados de 26 de junho de 2025).



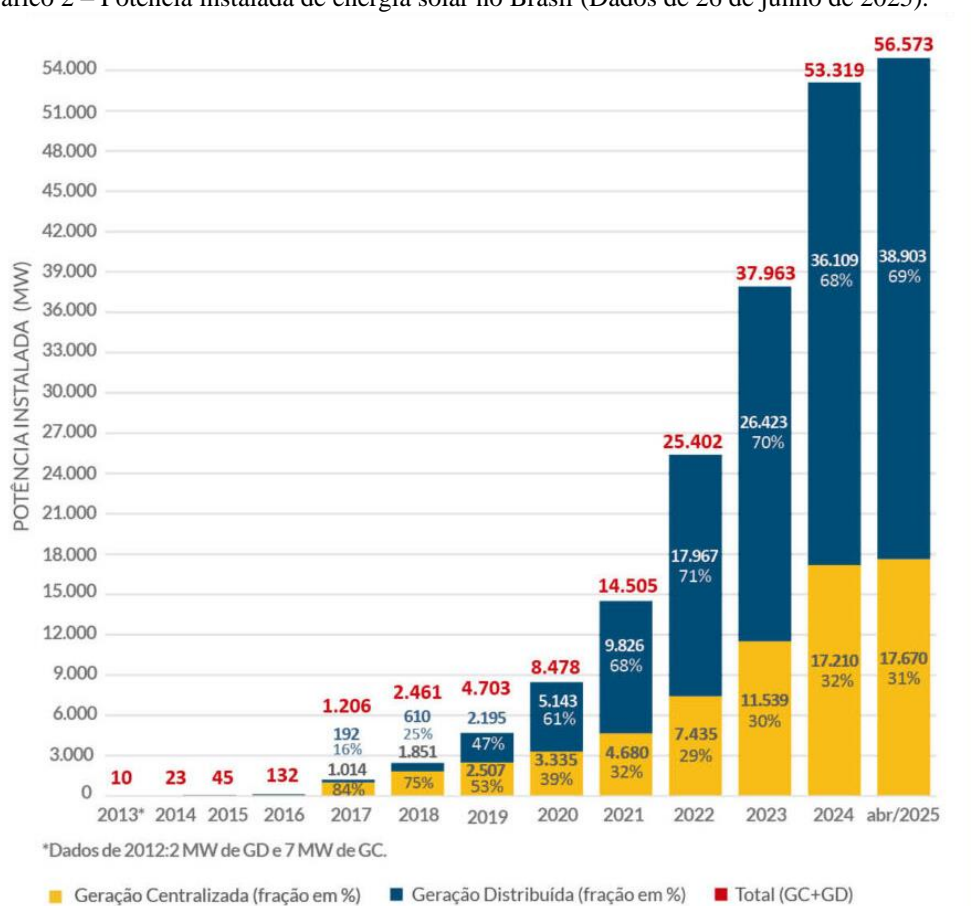
Fonte: Absolar (2025)

E no momento que o debate mundial sobre a questão climática e do aquecimento global se torna mais intenso, aumentou também a demanda brasileira e mundial por fontes renováveis de geração da energia elétrica (Santos, 2023). De modo que, nas últimas décadas o Brasil buscou incentivar cada vez mais o uso dessas fontes renováveis. Por meio de incentivos fiscais com

políticas de créditos e regulamentações específicas para essas atividades, garantindo inclusive a possibilidade de integração dessa geração distribuída (GD) à matriz energética nacional (Campos, 2023).

A potência fotovoltaica instalada no Brasil no ano de 2024, bateu recordes de novas instalações para apenas um único ano. Os cálculos da ABSOLAR apontam que a matriz energética do país ao fim do ano de 2024 alcançou a marca de 53,3 GW de potência operacional de fonte solar acumulada, sendo que destas, 68% foram de geração distribuída e 32% de geração centralizada, conforme o Gráfico 2 Absolar (2025).

Gráfico 2 – Potência instalada de energia solar no Brasil (Dados de 26 de junho de 2025).



Fonte: Absolar (2025)

Diante disso, cabe destacar que os sistemas fotovoltaicos possuem diversas aplicações práticas, dentre elas está o uso para o acionamento de irrigação de áreas agrícolas, atividade essencial para garantir a produtividade e segurança alimentar, especialmente em regiões áridas ou locais remotos (Andrade, 2013).

No trabalho intitulado: Dimensionamento e otimização de um sistema de bombeamento fotovoltaico para irrigação: Ilha de Santiago, Santa Cruz. Furtado (2020), apresenta a energia fotovoltaica como uma alternativa para propriedades que buscam suprir a demanda energética e hídrica em atividades agrícolas. Apontando esse método como mais sustentável em comparação aos métodos convencionais de bombeamento, onde a operação ocorre com motores conectados à rede de energia ou motores de combustão interna a gasolina ou diesel.

Dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar ainda apontam que o Brasil possui um excelente potencial para ampliação da geração de energia por meio de sistemas fotovoltaicos, destacando o alto nível de incidência solar e a baixa variabilidade da irradiação solar ao longo do ano em todas as regiões do território nacional, apresentando valores superiores a países onde a tecnologia fotovoltaica já é bem mais aplicada, como é o caso da Alemanha, Espanha, Itália, Portugal e França (Atlas, 2017).

E além desses fatores, que fomentam o uso de sistemas fotovoltaicos como método de solução localizado, incluindo em propriedades isoladas. Outros fatores como, a diminuição no custo de aquisição desses sistemas em função de avanços construtivos dos componentes e da alta demanda mundial, favoreceram o uso de sistemas fotovoltaicos em pequenas propriedades de agricultura familiar, tornando a prática cada vez mais acessível na zona rural do Brasil (Pereira e Mendes, 2019).

Diante do apresentado, este estudo busca responder a seguinte questão: É financeiramente viável a implementação de um sistema fotovoltaico isolado, para o uso na irrigação de 1 hectare de açaí (*Euterpe oleracea Mart.*) da agricultura familiar no Quilombo de Umarizal, município de Baião, Pará?

Para responder esse questionamento, o estudo tem como objetivo dimensionar por meio de cálculos um sistema fotovoltaico isolado (SFI) e analisar por meio de índices financeiros a viabilidade de sua implementação na operação da propriedade.

A metodologia utilizada compreendeu uma pesquisa básica, de abordagem quantitativa e de caráter exploratório, a partir de procedimentos técnicos classificados como bibliográfico, de campo e documental. Apresentando uma visão direcionada do uso da energia solar fotovoltaica como uma alternativa de modernização sustentável nas práticas da agricultura familiar dentro da comunidade quilombola estudada.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Levando em consideração o atual cenário do uso de energia solar para suprir demandas energéticas cada vez mais pontuais, avaliar a viabilidade e os impactos do uso de um sistema fotovoltaico na irrigação da agricultura familiar em um Quilombo no Pará, se mostrou um assunto de relevância social e econômica.

O interesse em realizar esse estudo, surgiu em função de observação do trabalho agrícola realizado por meus familiares no Quilombo de Umarizal, Baião-PA. Nas comunidades que compõem esse território, a agricultura é integrada ao modo de vida da população, uma prática repassada por gerações e que representando um importante meio de subsistência e fonte de geração de renda.

Dentre os desafios enfrentados pelos produtores do Quilombo de Umarizal, destacam-se a falta de assistência técnica especializada, a falta de mecanização nas propriedades e a baixa qualidade dos serviços de distribuição elétrica na região, o que dificulta a implementação de equipamentos elétricos no campo.

Em termos produtivos, os agricultores de Umarizal ainda dependem muito do período de chuva na região para realização suas atividades agrícolas. E mesmo com essa limitação adicional, eles trabalham com uma grande variedade de plantas em suas áreas, indo desde hortaliças e leguminosas, até frutíferas e ervas medicinais.

O cultivo central nessa comunidade é a mandioca (*Manihot esculenta*), muito usada na fabricação de farinha e outros subprodutos comerciais, mas nos últimos dez anos o cacau (*Theobroma cacao*) e o açaí (*Euterpe oleracea*) plantado em terra firme vem ganhando espaço nessas propriedades.

Nesse contexto, o presente estudo busca avaliar a viabilidade financeira da aplicação de um Sistema Fotovoltaico Isolado (SFI) para o acionamento de irrigação em uma área de consórcio de cacau e açaí em uma das propriedades desse Quilombo. Tendo em vista, outros benefícios que essa técnica poderia acarretar, com a disponibilidade de água em período de estiagem e a geração da própria eletricidade de maneira sustentável.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo dimensionar por meio de cálculos um Sistema Fotovoltaico Isolado (SFI) para o acionamento de bombas elétricas de um sistema de irrigação e analisar a viabilidade financeira de sua implementação em uma propriedade no Quilombo de Umarizal, Baião - PA.

### 1.2.1 Objetivos Específicos

De modo que, para alcançar o objetivo geral alguns objetivos específicos foram estipulados, sendo eles:

- Caracterizar as práticas de uso e ocupação do solo na agricultura das comunidades que compõem o Quilombo de Umarizal no município Baião;
- Realizar uma revisão bibliográfica a respeito de sistemas fotovoltaicos aplicados em bombeamento de água;
- Dimensionar por meio de cálculos um sistema fotovoltaico isolado para irrigação agrícola;
- Avaliar a viabilidade financeira do projeto por meio de índices financeiros como a taxa mínima de atratividade, valor presente líquido, taxa interna de retorno e *payback*.

## 1.3 ESCORPO DO TRABALHO

No tópico 1, é dada a introdução com a finalidade de fazer o enquadramento do problema e a motivação que levou a escolha desse tema para a dissertação. Também são apresentados os objetivos gerais e específicos do estudo.

No tópico 2, apresentada uma revisão bibliográfica dos assuntos abordados no trabalho. A exemplo disso são: a agricultura familiar no Quilombo de Umarizal, Baião-PA; os sistemas de bombeamento fotovoltaicos e o estado atual da tecnologia fotovoltaica.

No tópico 3, é apresentada a metodologia utilizada no trabalho. Inicialmente caracterização da área de estudo e posteriormente aplicando as etapas de dimensionamento para um sistema de bombeamento fotovoltaico.

No tópico 4, são apresentados os resultados e discussões do estudo. Com o orçamento dos custos com equipamentos e mão de obra. A projeção da economia resultante do uso deste sistema fotovoltaico em comparação ao custo dessa energia se fosse fornecido pela concessionária. E uma análise dos índices financeiros para a determinar a viabilidade do projeto.

No tópico 5, são apresentadas as considerações finais do trabalho e algumas recomendações para trabalhos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 AGRICULTURA FAMILIAR

De acordo com a Lei nº 11.326 de julho de 2006, que estabelece as diretrizes para a formulação da política nacional da agricultura familiar e empreendimentos familiares rurais. É considerado agricultor familiar e empreendedor familiar rural, aquele cuja atividade produtiva é realizada no meio rural, e atenda simultaneamente, quatro requisitos descritos no Art. 3º desta Lei.

I - Não detenha, a qualquer título, área maior do que 4 (quatro) módulos fiscais<sup>1</sup>;  
II - utilize predominantemente mão-de-obra da própria família nas atividades econômicas do seu estabelecimento ou empreendimento; III - tenha percentual mínimo da renda familiar originada de atividades econômicas do seu estabelecimento ou empreendimento [...] IV - dirija seu estabelecimento ou empreendimento com sua família. [...] (Art. 3º da Lei Nº 11.326/2006).

Além disso a Lei 11.326/2006 também destaca que são beneficiários dessa Lei grupos de silvicultores, aquicultores, extrativistas, pescadores, povos indígenas, assim como comunidades quilombolas e outras comunidades tradicionais que atendam os requisitos descritos nesta.

§ 2º São também beneficiários desta Lei: [...] VI - integrantes de comunidades remanescentes de quilombos rurais e demais povos e comunidades tradicionais que atendam simultaneamente aos incisos II, III e IV do caput do art. 3º [...] (Art. 3º da Lei Nº 11.326/2006).

---

<sup>1</sup> Módulo fiscal – É uma unidade de medida, em hectares (10.000 m<sup>2</sup>), cujo valor é fixado pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). A dimensão de um módulo fiscal varia de acordo com o município onde está a localizada a propriedade. O valor do módulo fiscal no Brasil varia de 5 a 110 hectares (Embrapa, 2024, p.1).

Ramos (2022), aponta a agricultura familiar como uma prática fundamental para a garantia da segurança alimentar no país. Uma vez que, esse modelo produtivo abrange inúmeros tipos de atividades, que são responsáveis por fornecer alimentos orgânicos aos mercados locais e nacional. O que segundo (Embrapa, 2024, p. 1) ocorre porque, “a agricultura familiar está presente em todos os biomas do País e se caracteriza por uma grande diversidade de organização e resiliência em cada um dos cinco biomas brasileiros, garantindo a segurança alimentar e nutricional da população”

Dados do último censo agropecuário de 2017, que avaliou mais de 5 milhões de estabelecimentos agropecuários em todo o Brasil, mostrou que na época a agricultura familiar era responsável por cerca de 40% da produção agrícola no país. Com esse modelo produtivo empregando mais de 10 milhões de pessoas e gerando 7 em cada 10 empregos no campo (Embrapa, 2024) (Absolar, 2016).

Diante da importância econômica desempenhada pela agricultura familiar, nas últimas décadas o governo federal buscou incentivar linhas de crédito e de custeio para esses produtores. Exemplo disso é o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF), criado em 1995 para atender uma demanda específica dos pequenos produtores. E o Plano Safra do Ministério de desenvolvimento Agrário (MDA), criado em 2003 e que abrange um conjunto de ações e programas incluindo o Pronaf e é direcionado para pequenos, médios e grandes produtores (Neto, 2024).

O Plano Safra da Agricultura Familiar, na edição de 2024/2025, por meio do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar ampliou de forma histórica o volume de crédito rural, prevendo o valor de R\$ 76 bilhões. Superando, os R\$ 71,6 bilhões em da edição 2023/2024 que até então era considerado o maior volume de investimento já feito pelo programa (Azevedo, 2023; Pires, 2023; MDA, 2024)

Nesse contexto, destaca-se o fato do PRONAF por meio do subprograma Pronaf Bioeconomia, disponibilizar financiamentos de até R\$ 250 mil a taxa de até 3% ao ano e prazo de pagamento de 10 anos com 5 anos de carência. Para produtores familiares que dentre outros objetivos, busquem investir em tecnologias de energias renováveis, como a energia solar. E projetos que estejam relacionados a captação e distribuição água em propriedades rurais (BNDES, 2024).

### 2.1.1 Agricultura familiar no Quilombo de Umarizal

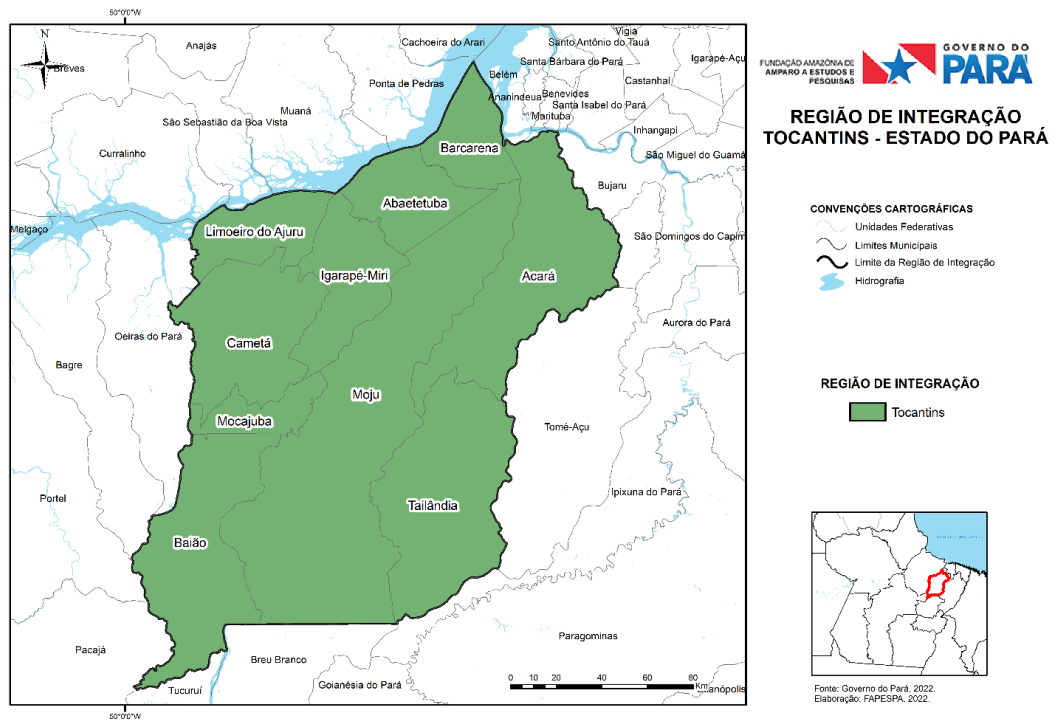
Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2022, mostra o Pará como o quarto Estado brasileiro em números de quilombolas, atrás apenas da Bahia, Maranhão e Minas Gerais, com 135.033 pessoas autodeclaradas quilombolas no Estado. E entre os municípios paraense em comparação com todos os outros do país, “Abaetetuba, com 14.526 quilombolas, e Baião, com 12.857, ambos na Região de Integração Tocantins, ocupam a 5ª e 7ª posições, respectivamente” (Leite, 2023, p.1)

O município de Baião na mesorregião nordeste do Pará, é um dos 11 (onze) municípios que compõem a Região de Integração Tocantins ou Baixo Tocantins<sup>2</sup>, mapa na Figura 1. Uma região paraense onde historicamente a identidade das populações tradicionais amazônicas são preservadas a décadas, por meio da coexistência de diferentes povos e comunidades tradicionais. E onde o cotidiano é marcada principalmente pelo conhecimento empírico do bioma no qual esses grupos estão inseridos, associado ao manejo e uso sustentável dos recursos vindos do rio, da floresta e da terra cultivada (Oliveira, 2021).

---

<sup>2</sup> O Baixo Tocantins ou Vale do Tocantins, no nordeste paraense, é formado por 11 municípios, sendo eles Abaetetuba, Acará, Baião, Barcarena, Cametá, Igarapé-Miri, Limoeiro-do-Ajuru, Mocajuba, Moju, Oeiras do Pará e Tailândia, de acordo com Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA, 2015 apud Brito; Treccani, 2019, p. 98).

Figura 1 – Região de Integração Tocantins/Baixo Tocantins.

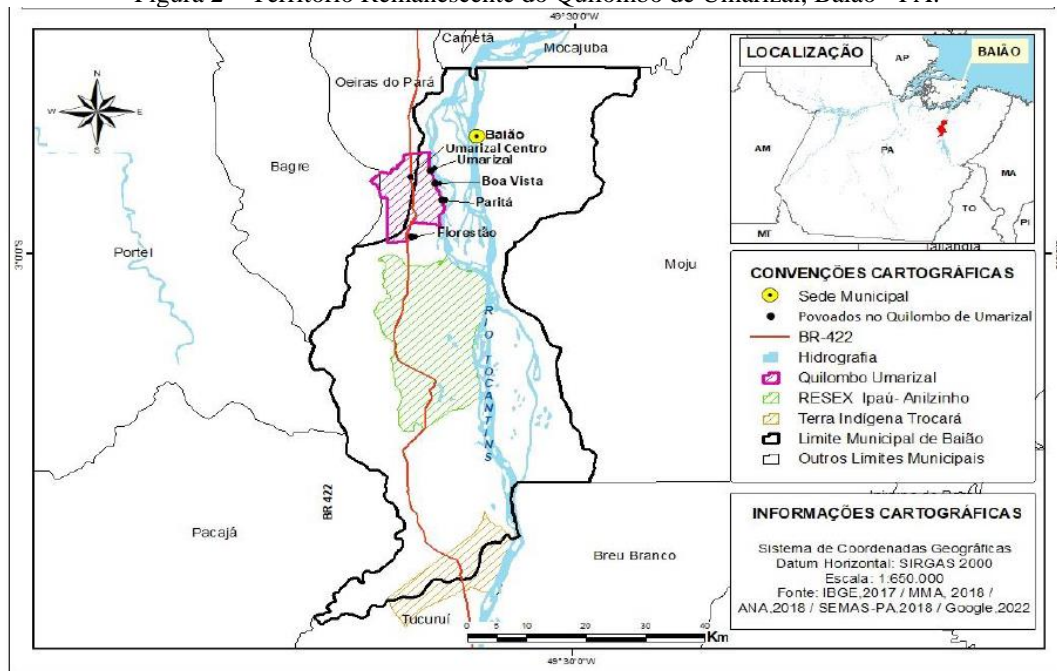


Fonte: Fapespa (2022).

E é nesse contexto, que está inserido o Quilombo de Umarizal. Localizado no município de Baião, esse território quilombola foi organizado juridicamente em meados dos anos 90, a partir da necessidade e interesse na titulação coletiva dessa área.

Integrado por cinco comunidades remanescentes e sob a jurisdição da Associação das Comunidades Remanescentes de Quilombos de Umarizal Beira, Umarizal Centro, Boa Vista, Florestão e Paritá Miri (ACORQBU), mapa da Figura 2, o Quilombo de Umarizal tem uma população de aproximadamente 4 mil habitantes e uma área aproximada de 153,83 Km<sup>2</sup> (Baia, 2021).

Figura 2 – Território Remanescente do Quilombo de Umarizal, Baião - PA.



Fonte: Farias (2021)

No que se refere a agricultura no Quilombo de Umarizal, autores como Sousa (2018), Oliveira (2021) e (Farias, 2021)., afirmam que o modo de produção é marcado por características de organização produtivas das populações tradicionais da Amazonia. Com uma agricultura familiar adaptada aos períodos de chuva e estiagem na região, a mão de obra centrada no núcleo da família, produção diversificada e voltada majoritariamente para a subsistência destas.

E além da agricultura familiar, outras formas de produções regionais são comuns no Quilombo de Umarizal, como é o caso do extrativismo florestal, o extrativismo animal e a pecuária de pequeno porte. Que segundo Silva e Lopes (2022) são técnicas repassadas por gerações, desde os primeiros grupos que se estabeleceram nesse território.

Agrupando-se no local, começaram a explorar os recursos naturais de maneira sustentável, baseado no extrativismo através da coleta de frutos (castanha-do-pará (*Bertholletia excelsa*), uxi (*Endopleura uchi*), açaí (*Euterpe oleracea*), bacaba (*Oenocarpus bacaba*), etc...), caça, pesca e extração de madeira, cipó e palha para a construção de seus humildes casebres de taipa (uma mistura de barro, varas e cipós) e também extraíam ervas para o preparo de remédios caseiros. A agricultura de subsistência baseava-se no plantio de mandioca (*Manihot esculenta*), milho (*Zea mays*), arroz (*Oryza sativa*), feijão (*Phaseolus vulgaris*) e outros que eram produzidos em pequenas roças. Também, criavam em seus terreiros pequenos animais como galinhas (*Gallus gallus domesticus*), patos (*Anatidae*), porcos (*Sus scrofa domesticus*) (Silva; Lopes, 2022, p. 18-19).

No entanto, de acordo com Sousa (2018), por mais que seja inegável a influência das técnicas ancestrais no modo produtivo dessas comunidades, também é inevitável que elas recebam influências externas ao longo do tempo. De modo que, muito do que é feito atualmente seja o resultado de intercâmbio cultural com outros grupos populacionais da região e até mesmo experimentação de novas técnicas produtivas estudadas por meio da internet.

Nesse contexto, mudanças graduais na agricultura desse território se tornaram cada vez mais visíveis nas propriedades. A exemplo disso, temos a troca parcial dos sistemas de coivara<sup>3</sup> pela produção em uma única área de cultivo. Além de, ser cada vez mais frequente a implementação de sistemas de irrigação para culturas a do açaí (*Euterpe Oleracea Mart.*). (Sousa, 2018; Souza *et al.*, 2021).

## 2.2 TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA

O efeito fotovoltaico é a capacidade de movimentação de elétrons em materiais semicondutores<sup>4</sup>, quando esse é exposto a determinadas frequências de radiação luminosa. Foi visto pela primeira vez, em 1839, quando o físico francês Alexandre-Edmond Becquerel em um experimento com eletrodos imersos em uma solução ácida, observou o surgimento de diferença de potencial nos terminais, causada pela incidência de luz sobre a solução (Aramizu, 2010).

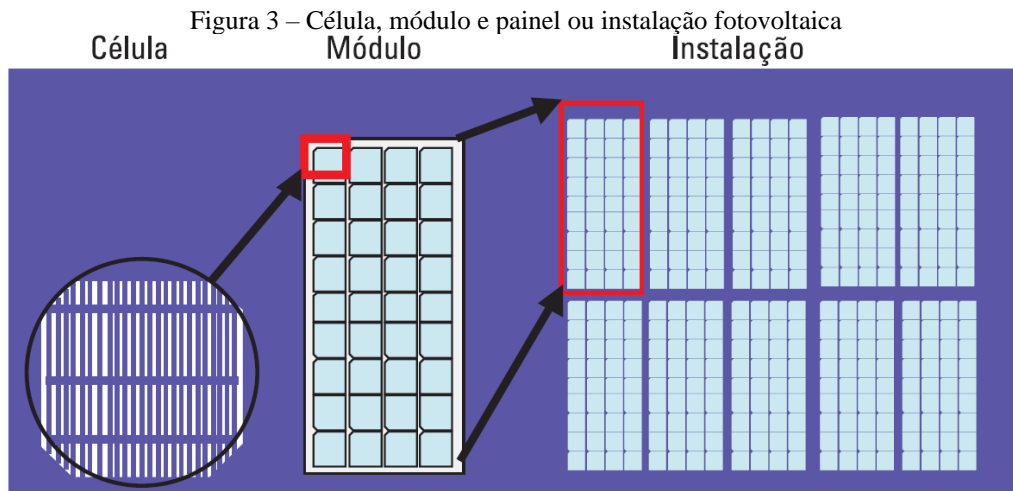
---

<sup>3</sup> Coivara – É uma técnica onde o plantio é feito por um breve período em uma área e depois dele, o solo passa um tempo sem produzir em processo de recuperação. Suas etapas incluem o corte, a derruba e a queima de pequenas áreas de floresta e por último o plantio rotativo de culturas na área antes de mudar para outro local. (Alves, 2021)

<sup>4</sup> Semicondutores – São materiais que possuem uma condutividade elétrica intermediária. Isso significa que eles conseguem atuar como um isolante, impedindo a passagem de corrente elétrica, ou como condutor, permitindo que os elétrons passem, dependendo das condições do ambiente a que são submetidos (Hisatomi, 2023, p.1).

### 2.2.1 Células fotovoltaicas

A célula fotovoltaica ou célula solar, é o elemento básico que permite a conversão de luz em eletricidade em um sistema gerador fotovoltaico, Figura 3. Essas células são dispositivos fabricados com materiais semicondutores e são as unidades fundamentais para aplicação da energia fotovoltaica (Penning; Timm; Finkler, 2019).



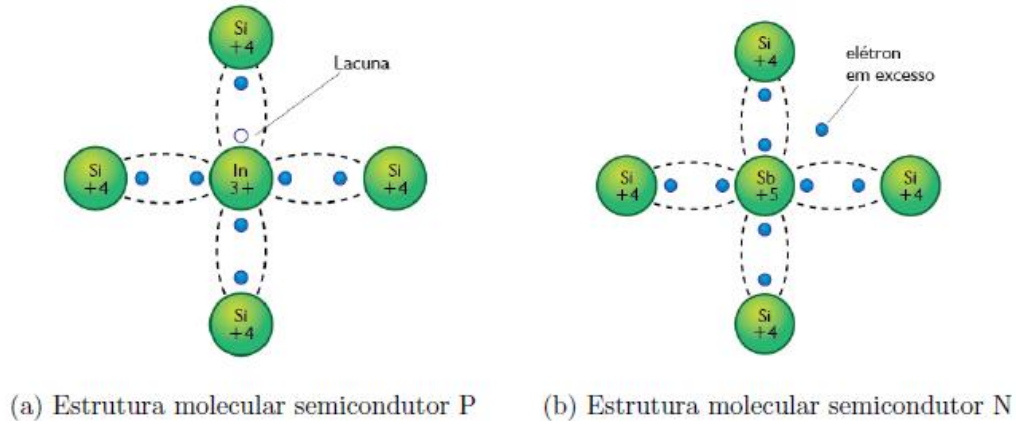
Fonte: Pereira e Oliveira (2015).

De acordo com Hisatomi (2023), Pereira e Oliveira (2015), cerca de 96% de todas as células fotovoltaicas produzidas no mundo, utilizam como semicondutor o silício (Si). Muito em função da facilidade de manipulação nas propriedades elétricas desse material. E ainda por ser o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, representando cerca de 27,7%, perdendo apenas para oxigênio com 48,78%.

Contudo, o cristal de silício puro não é um bom condutor de elétrons, “o que acontece é que um semicondutor, em seu estado puro (ou intrínseco), se torna eletricamente neutro devido a recombinação de elétrons pelos átomos do elemento do qual é feito” (Santos, 2023, p.23).

Nesse contexto, no processo de a fabricação de célula fotovoltaica utilizasse um método conhecido como junção PN. Que consiste na união de um semicondutor do tipo N, com excesso de elétrons e outro do tipo P, com lacunas para os elétrons se ligarem. Ambos, resultados de um processo de dopagem ou acréscimo de impurezas ao silício (Swart, 2008). Na Figura 4 é ilustrado as estruturas moleculares desses semicondutores.

Figura 4 – Estruturas moleculares dos semicondutores.



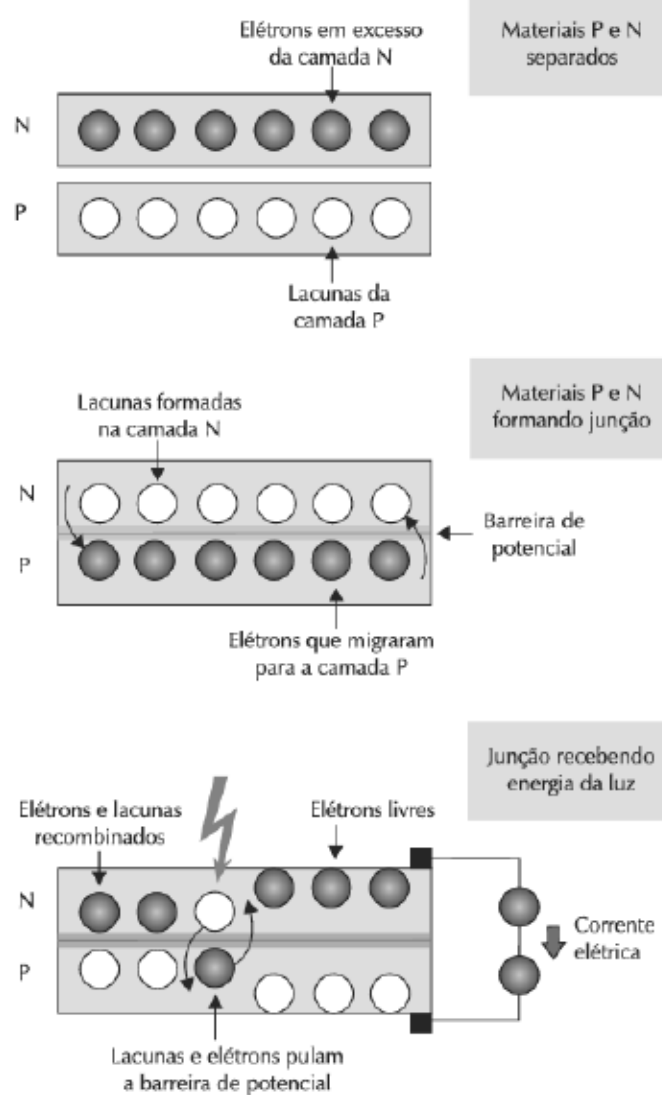
Fonte: Santos (2023).

No processo de dopagem dos semicondutores para a formação das camadas PN, geralmente é realizado a adição dos elementos Fósforo e Boro, conforme explica Lafea (2024).

Como o silício possui quatro elétrons que se ligam aos seus vizinhos, se adicionarmos a esta rede átomos de cinco elétrons de ligação como, por exemplo, o fósforo (P), haverá um elétron em excesso, que poderá ser deslocado para a banda de condução. Se forem introduzidos átomos de três elétrons de ligação, como o Boro (B), haverá a falta de um elétron para satisfazer as ligações com os átomos de silício da rede, e desta forma será formada uma lacuna, que poderá ser ocupada por um elétron vizinho. Este processo é caracterizado como dopagem e diz-se que o fósforo é um dopante doador de elétrons (dopante tipo N), enquanto que o Boro é um dopante receptor de elétrons (dopante tipo P). (Lafea, 2024, p.1)

De modo que, essa junção PN atua como um catalizador do efeito fotovoltaico, onde a liberação de elétrons da camada N em função da exposição aos fótons da luz, proporciona um acúmulo de cargas que se recombinam com as lacunas da camada P. A partir disso, a introdução de um condutor entre as bordas externas da célula, possibilita o fluxo contínuo dos elétrons (corrente), conforme ilustrado na Figura 5 (Villalva; Gazoli, 2012).

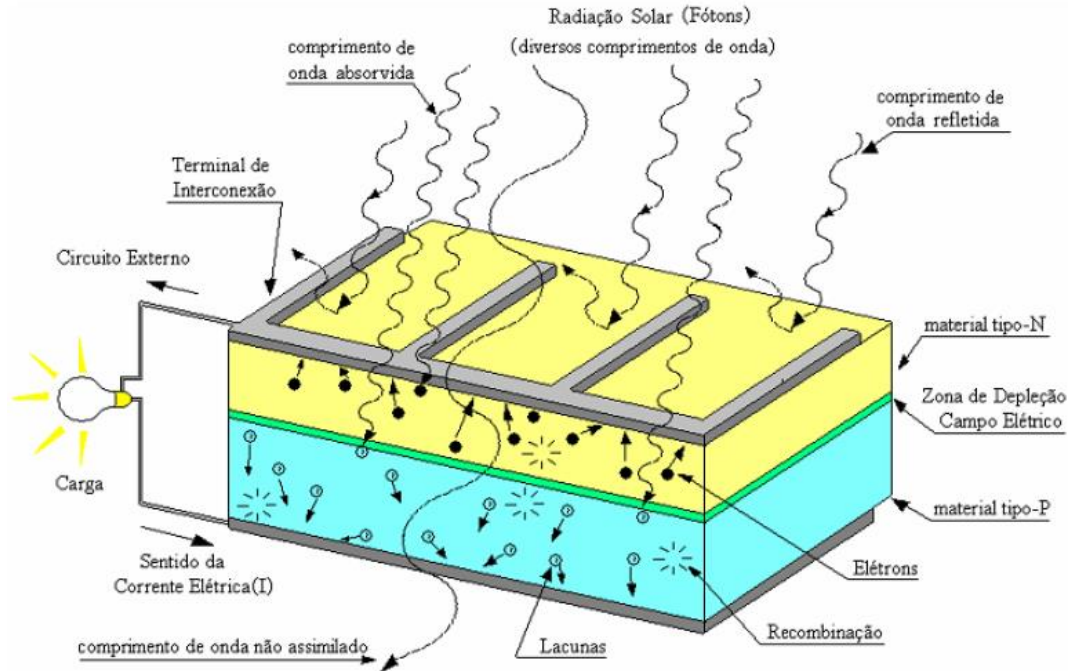
Figura 5 – Semicondutores do tipo P e N: Separados; Unidos (Sem luz); Unidos (com luz).



Fonte: Villalva e Gazoli (2012).

A eficiência de uma célula fotovoltaica está diretamente ligada a quantidade de luz que chega aos semicondutores, mas também depende da quantidade de energia que é aproveitada na conversão. Isso porque, alguns comprimentos de ondas da luz visível são refletidos antes de atingir o material semicondutor, enquanto outros, mesmo penetrando o material, não são assimilados pela célula, conforme ilustra a Figura 6 (Aramizu, 2010).

Figura 6 – Representação de uma célula fotovoltaica.



Fonte: Aramizu (2010).

Segundo Santos (2023, p. 25), os “fótons possuem diferentes cargas de energia e apenas aqueles com cargas adequadas conseguem liberar os elétrons do semiconductor. Fótons com energia excedente ou inferior a necessária, somam mais de 50% da luz que incide sobre uma célula fotovoltaica”.

Nesse sentido a eficiência de conversão energética desses equipamentos é limitada, e geralmente está relacionada ao método construtivo aplicado e ao material semiconductor utilizado. De acordo com Moraes (2020), as células fotovoltaicas produzidas atualmente, podem ser agrupadas em relação a tecnologia empregada em sua construção. E ainda ser subdivididas de acordo com o material usado. Algumas tecnologias mais comuns são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Principais tecnologias de células fotovoltaicas.

<b>Tecnologia</b>		<b>Sigla</b>	<b>Material</b>	<b>Eficiência</b>
<b>1ª GERAÇÃO</b>	Monocristalino	m-Si	Silício	18% - 25%
	Policristalino	p-Si	Silício	16% - 20%
<b>2ª GERAÇÃO</b>	Amorfo ou Amorfo hidrogenado	a-Si	Silício	6% - 9%
	Arsenieto de gálio	GaAs	Compostos Químicos	6% - 16%
	Disseleneto de cobre-índio	CIS	Compostos químicos	7,5% - 9,5%
	Disseleneto de cobre, índio e gálio	CIGS	Compostos químicos	10% - 13%
	Telureto de cádmio	CdTe	Compostos químicos	9% - 16%
<b>3ª GERAÇÃO</b>	Célula para concentração	CPV	Novos materiais	*45% - 50%
	Células sensibilizadas por corante	DSSC	Novos materiais	12,3%
	Células orgânicas ou poliméricas	OPV	Novos materiais	7% - 18%
CPV – <i>Concentrated Photovoltaics</i> DSSC – <i>Dye-Sensitized Solar Cell</i> OPV – <i>Organic Photovoltaics</i> *Sob luz solar concentrada.				

Fonte: Adaptado de Moraes (2020), Mariano e Junior (2022), Iberdola (2024).

Os equipamentos da primeira geração, são os que tem maior representatividade no mercado mundial respondendo por mais de 80% da produção mundial, muito em razão de ser considerada uma tecnologia consolidada e confiável e apresentarem as maiores eficiências de conversão comercialmente disponíveis (Pinho; Galdino, 2014).

Células fotovoltaicas da segunda geração, são baseadas em tecnologias de filmes finos, com construção baseada na deposição de camadas de filmes fotossensíveis sobre superfícies. Apresentam a característica de serem flexíveis o que lhes abrem uma enorme gama de aplicações (Mariano; Junior, 2022).

A terceira geração de células fotovoltaicas, contempla tecnologias mais recente, grande parte ainda em fase de pesquisa e desenvolvimento.

A tecnologia CPV por exemplo apresenta módulos com alta eficiência em laboratório., No entanto, o custo de produção também é alto, o que inviabiliza a fabricação em larga escala. A tecnologia DSSC por sua vez, apresenta custos de produção relativamente baixos, estimados em 50% menores que na produção de células de silício cristalino, porém com eficiência inferior mesmo em laboratório (Pinho; Galdino, 2014; Iberdrola, 2024).

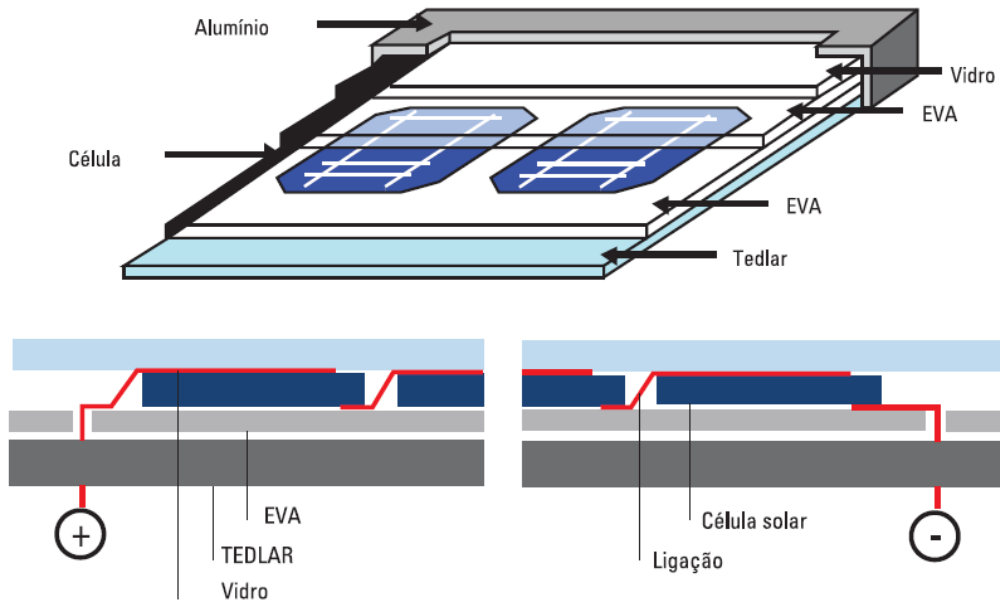
### **2.2.2 Módulo fotovoltaico**

As células fotovoltaicas possuem limitações quanto a tensão, corrente e conseqüentemente a potência que conseguem produzir individualmente. Em média uma única célula fotovoltaica de silício tem a capacidade de produzir uma tensão de saída muito baixa, na ordem de 0,3 Volts a 0,5 Volts, com a corrente variando de acordo com a potência nominal (Berto, 2017).

Nesse contexto, um modulo fotovoltaico é uma estrutura formada a partir da interligação entre um conjunto de várias células fotovoltaicas em serie e/ou paralelo. A fim de aumentar os níveis de tensão e corrente até valores adequados para aplicação prática, conforme ilustra a Figura 7 (Pereira; Oliveira, 2015).

Com os módulos fotovoltaicos mais comercializados no mercado atualmente, sendo integrados por 60 ou 72 células e apresentam valores de potência entre 240 Watts e 335 Watts (Santos, 2023).

Figura 7 – Representação de ligações internas em um módulo fotovoltaico.

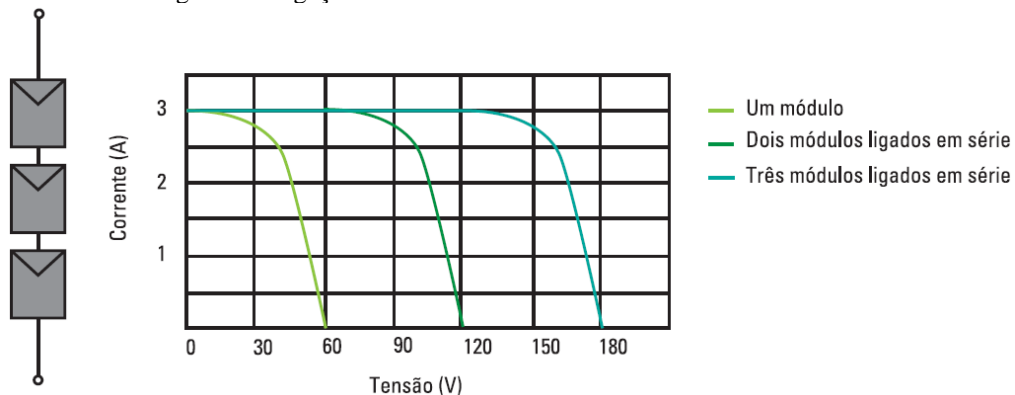


Fonte: Aramizu (2010).

Segundo Pinho e Galdino (2014), a forma como as células e os módulos fotovoltaicos são associados, influencia diretamente nos parâmetros de tensão e corrente resultantes. Uma vez que, considerando o uso de dispositivos idênticos e submetidos às mesmas condições de temperatura e irradiância, pode-se afirmar que:

Uma associação de  $N$  dispositivos fotovoltaicos feita em série, resulta na soma de tensão de todos eles, ao passo que a corrente elétrica permanece constante, ilustração na Figura 8 (Pereira; Oliveira, 2015).

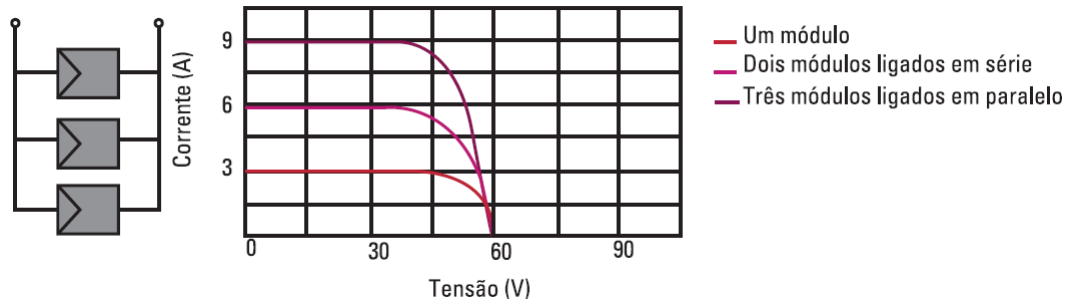
Figura 8 – Ligação em série de três células/módulos fotovoltaicos.



Fonte: Pereira e Oliveira (2015).

E uma associação de  $N$  dispositivos feita em paralelo, a corrente desses dispositivos é somada enquanto a tensão permanece constante, ilustração na Figura 9 (Pereira; Oliveira, 2015).

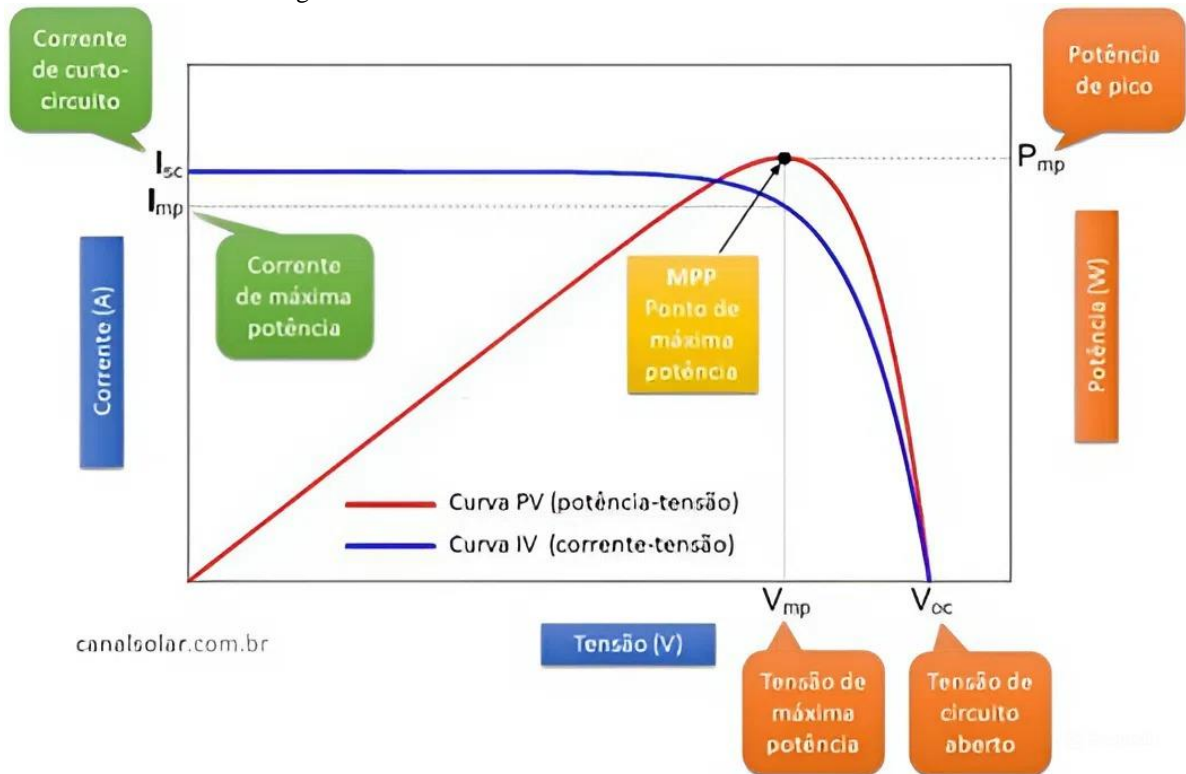
Figura 9 – Ligação em paralelo de três células/módulos fotovoltaicos.



Fonte: Pereira e Oliveira (2015).

As curvas característica de corrente, tensão e potências de um módulo fotovoltaico, são fundamentais para a análise desempenho desses equipamentos, exemplo na Figura 10. A curvas são geradas para um módulo em condições padrão de teste (STC – *Standard Test Conditions*), com irradiância de  $1000 \text{ W/m}^2$  e temperatura de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . E a partir dessas curvas, alguns parâmetros podem ser extraídos (Moraes, 2020).

Figura 10 – Curva característica de um módulo fotovoltaico.



Fonte: Vilalva (2019).

Onde segundo Vilalva (2019) e Pinho e Galdino (2014):

- Tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ):** é a tensão medida nos terminais do módulo fotovoltaico quando ele está desconectado da carga e sem circulação de corrente elétrica. Corresponde a máxima tensão que o módulo fotovoltaico pode alcançar.

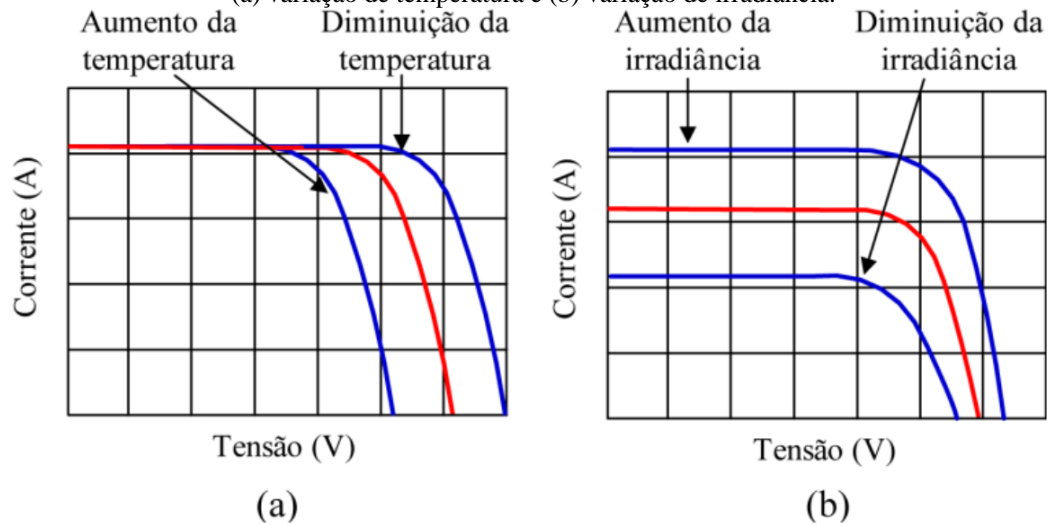
- b) **Corrente de curto-circuito ( $I_{SC}$ ):** é a corrente medida quando a tensão nos terminais do módulo é nula. E representa a máxima corrente que o módulo fotovoltaico é capaz de fornecer.
- c) **Ponto de máxima potência ( $MPP$ ):** Corresponde ao ponto de operação em que o módulo é capaz de gerar a máxima potência ou potência de pico.
- d) **Tensão de máxima potência ( $V_{MP}$ ):** é a tensão medida nos terminais do módulo, quando este opera no ponto de máxima potência.
- e) **Corrente de máxima potência ( $I_{MP}$ ):** é a corrente medida nos terminais do módulo, quando este opera no ponto de máxima potência.
- f) **Potência de pico ( $P_{MP}$ ):** é a maior potência que o módulo fotovoltaico é capaz de fornecer.

Fatores externos como a variação de temperatura e irradiância solar podem influenciar os parâmetros elétricos dos módulos fotovoltaicos. Segundo Villalva e Gazoli (2012), a capacidade de geração de energia dos módulos fotovoltaicos é diretamente proporcional à irradiância e inversamente proporcional a temperatura.

No cenário em que a irradiância é constante em  $1000 \text{ W/m}^2$ , padrão de STC. A variação de temperatura no módulo, é marcada por mudanças expressivas na tensão e pouca variação na corrente elétrica, conforme a Figura 11 (a) (Pinho; Galdino, 2014).

Para uma temperatura constante de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , padrão de STC. A diminuição de irradiância incidente no módulo, resulta em uma queda proporcional no valor de corrente elétrica e uma diminuição de tensão, porém de forma logarítmica e pouco significativa, conforme a Figura 11 (b) (Pinho; Galdino, 2014).

Figura 11 – Influência de fatores externos na operação do módulo fotovoltaicos:  
(a) variação de temperatura e (b) variação de irradiância.



Fonte: Moraes (2020).

### 2.3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Um sistema de energia solar fotovoltaico, também conhecido como sistema fotovoltaico, é o conjunto de componentes responsáveis pela conversão da luz solar em energia elétrica, pelo condicionamento desta energia para aplicação prática e pelo direcionamento desta energia para a carga ou consumidor final (Neo Solar, 2024; Moura, 2024).

Quanto a classificação dos sistemas fotovoltaicos. Pinho e Galdino (2014), afirma que os sistemas fotovoltaicos são classificados quanto ao seu modo de conexão, sendo divididos em dois principais grupos: os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR) ou *on-grid* e os sistemas fotovoltaicos isolados (SFI) ou *off-grid*.

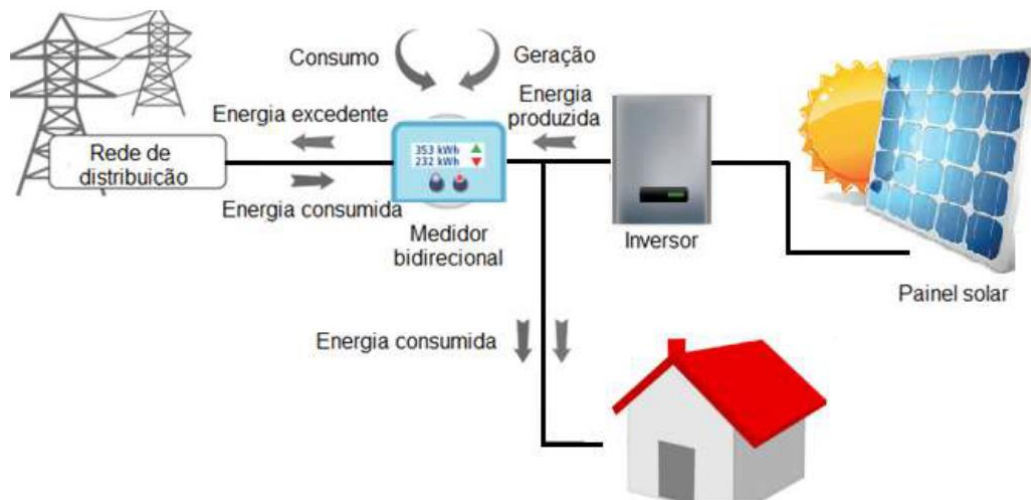
E para alguns autores a operação dos sistemas fotovoltaicos combinados com outras fontes de energia que como a eólica, biomassa, diesel, gás, gasolina etc. caracteriza um terceiro grupo, denominado sistemas híbridos (Lima; Santos, 2022) (Aramizu, 2010).

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede de energia elétrica, atuando “como uma fonte de energia complementar ao sistema elétrico que estão conectados” (Aramizu, 2010, p. 43). Uma vez que, se a energia gerada na unidade é maior que o consumo, o excedente produzido é entregue

a rede de distribuição. Resultando em créditos de energia para o consumidor com validade de 5 anos e que podem ser convertidos em descontos na fatura de energia (Campos, 2023).

O princípio de operação dos SFGR é dividido da seguinte forma: a radiação solar que incide nos módulos fotovoltaicos é convertida em uma corrente elétrica contínua (CC). Essa corrente é injetada no inversor e convertida em corrente elétrica alternada (CA), que pode ser consumida e/ou entregue a rede de distribuição por meio de um medidor bidirecional. Conforme ilustra a Figura 12.

Figura 12 – Sistema fotovoltaico conectado à rede.



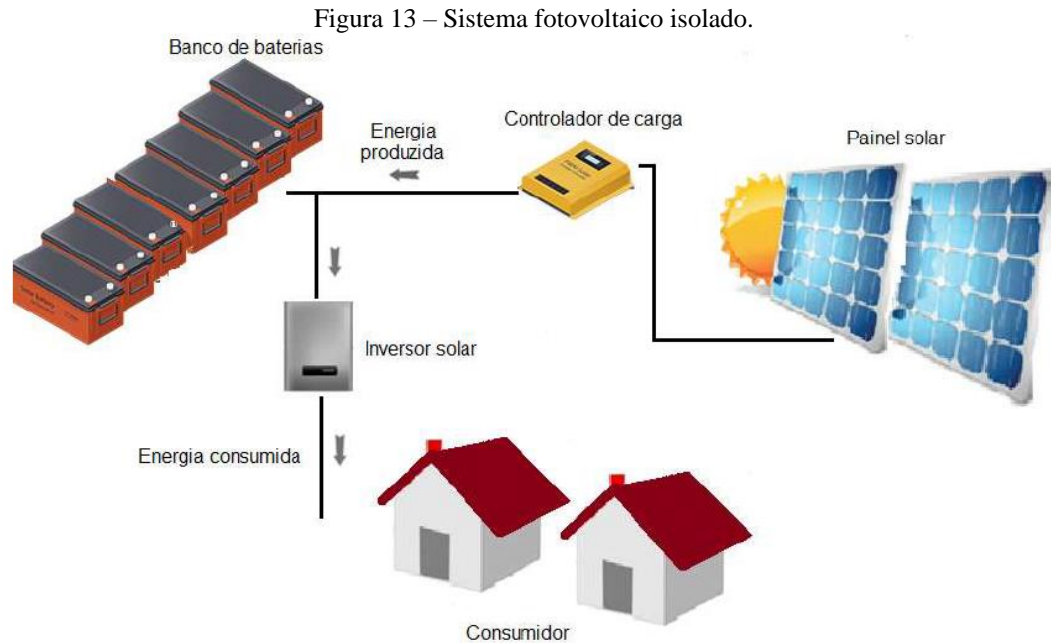
Fonte: Bruning (2022).

Sistemas *on-grid* são muito comuns nas áreas urbanas e apresenta um alto nível de confiabilidade operacional. Uma vez que, na indisponibilidade de luz solar o cliente tem acesso à energia da rede de distribuição. Contudo, para regiões onde essa distribuição elétrica é precária eles podem representar uma desvantagem, dado que só operam quando a rede de distribuição está ativa (Rosa, 2017).

Os sistemas fotovoltaicos isolados ou autônomos, têm como principal característica não estarem conectados à rede de distribuição elétrica. São sistemas capazes de gerar eletricidade de forma independente de outras fontes de energia (Bruning, 2022).

Geralmente são utilizados em locais de difícil acesso e sem disponibilidade de serviços elétrico ou para aplicações específicas e pontuais. Esses sistemas, quando dimensionados adequadamente, são capazes de suprir diferentes cargas com demanda de tensão e corrente seja ela contínua ou alternada (Aramizu, 2010).

Nos sistemas *off-grid* é comum o uso de bancos de baterias para o armazenamento da energia gerada, Figura 13, o que garante maior confiabilidade no sistema. Uma vez que, essa configuração permite a operação do sistema inclusive em períodos noturno e em dias com condições de baixa radiação solar (Bruning, 2022).



Fonte: Bruning (2022).

Os sistemas fotovoltaicos híbridos são caracterizados pela operação em conjunto de um sistema fotovoltaico com ao menos mais uma fonte geradora de eletricidade. Em alguns casos a aplicação de um sistema híbrido é vantajosa, uma vez que, a operação em conjunto com uma fonte secundária pode significar menor demanda nas instalações fotovoltaicas (Aramizu, 2010).

Contudo, dependendo da quantidade de fontes geradoras usadas e das características destas, a complexidade operacional e a necessidade de automação no sistema também pode aumentar (Lima; Santos, 2022).

Nesse contexto, a escolha do sistema fotovoltaico que deve ser usado em cada situação, depende de fatores individuais da aplicação analisada. E deve considerar as restrições ou disponibilidade de outras fontes energéticas no local em que será implantado (Pinho; Galdino, 2014).

## 2.4 SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO PARA IRRIGAÇÃO

Os sistemas fotovoltaicos isolados também podem ser instalados sem o uso de baterias. Nessa configuração não há a possibilidade de armazenar a energia elétrica e a energia gerada nos módulos deve ser consumida instantaneamente pela carga (Pereira; Mendes, 2019).

Segundo Bruning (2022), mesmo a confiabilidade do sistema sem bateria sendo menor, o custo de instalação e manutenção do sistema também é reduzido. Uma vez que, o uso de bateria exige acomodação adequada para evitar riscos ambientais, e como a vida útil desse equipamento é menor que a de outros componentes de um sistema fotovoltaico, as trocas ocorrem com maior frequência, sendo necessário o descarte adequado destas.

Nesse contexto, Pereira e Mendes (2019), destacam que os sistemas fotovoltaicos isolados sem baterias, costumam ser aplicados no acionamento de sistemas de bombeamento fotovoltaico e sistemas de irrigação. Onde a água é bombeada diretamente do ponto de captação até o consumo e caso haja a necessidade de uso posterior, a água pode ser armazenada em reservatórios, conforme ilustra a Figura 14.

O que para Bruning (2022) faz sentido, tanto pelo ciclo de vida menor das baterias quando comparado a outros equipamentos no sistema. Como também pelo fato de a irrigação ser uma atividade sazonal, acompanhando os períodos de estiagem de cada região. O que resultaria em longos períodos sem uso dos sistemas e das baterias de forma significativa, e por consequência poderia reduzir mais a vida útil desse componente Guzmán et al. (2018).

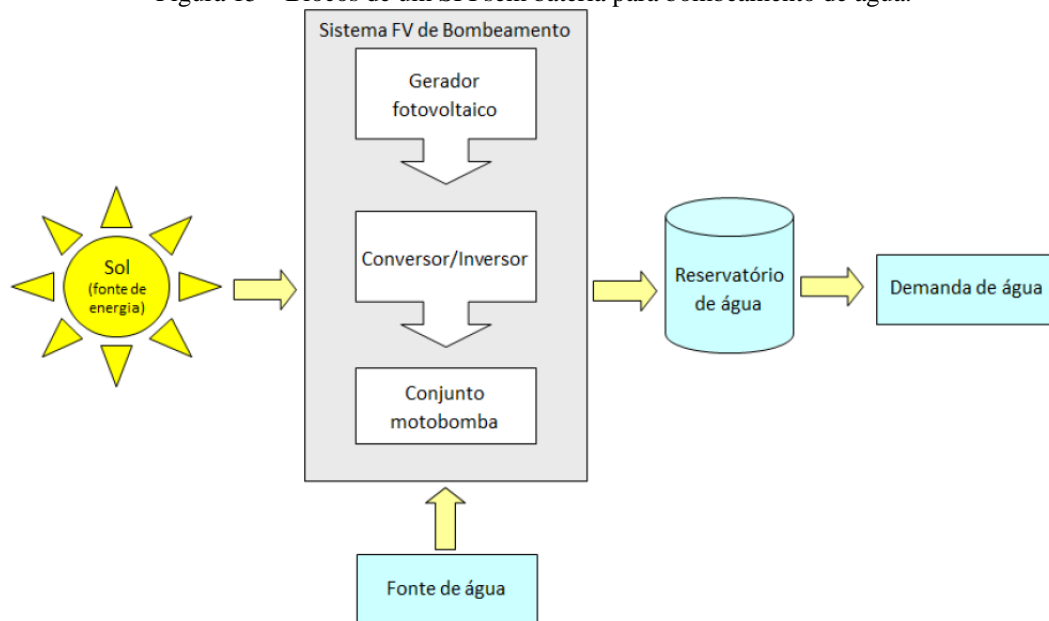
Figura 14 – Sistemas de bombeamento fotovoltaico.



Fonte: Valer (2016)

Diante disso, o SFI para irrigação pode ser integrado por um bloco gerador com módulos fotovoltaico para a conversão de luz em energia elétrica, um bloco condicionador com inversor para adequação dessa energia, e um conjunto motobomba como carga responsável pelo deslocamento de água para o reservatório ou ponto de consumo, esquema da Figura 15 (Pinho; Galdino, 2014).

Figura 15 – Blocos de um SFI sem bateria para bombeamento de água.



Fonte: Pinho e Galdino (2014).

Segundo Pinho e Galdino (2014), em sistema fotovoltaico aplicados no bombeamento de água, o conjunto motobomba tem muita influência no resultado do projeto e na eficiência da operação.

Nesse sentido, destacasse o fato de que, para sistema de bombeamento fotovoltaico existem duas principais categorias de bombas que são usadas: as bombas centrífugas e as bombas volumétricas ou de deslocamento positivo. Pinho e Galdino (2014),

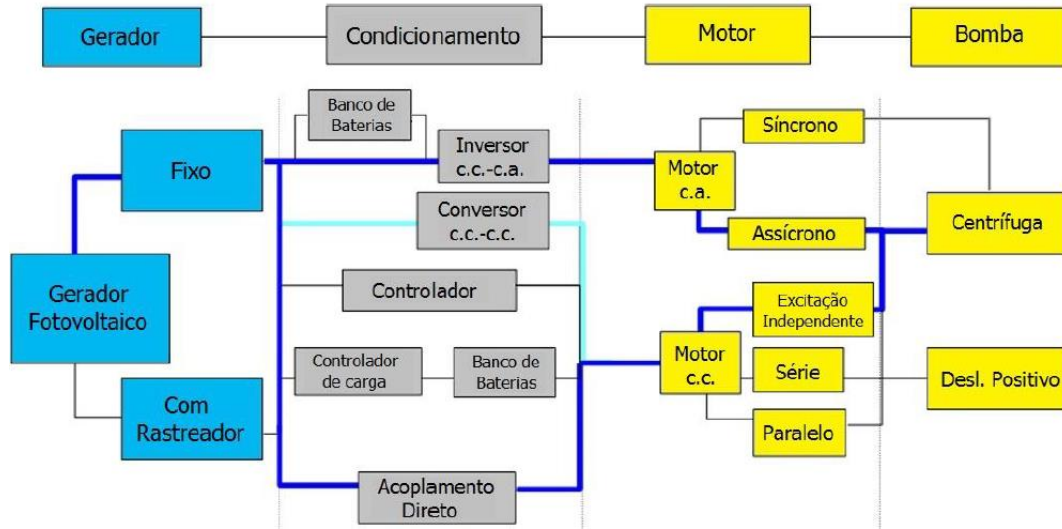
As bombas centrífugas são ótimas para aplicações que exigem grandes volumes de água em pequenas alturas manométricas. Elas movimentam a água a partir da rotação interna de suas pás. E têm sua eficiência atrelada a um ponto ideal de projeto que relaciona a altura manométrica e o nível de vazão exigido. De modo que, perde eficiência se operar muito fora da faixa indicada pelo fabricante Pinho e Galdino (2014),

No geral existem duas principais classes de bombas centrífugas: as submersíveis e as de superfície. A primeira, opera diretamente dentro d'água, enquanto a segunda precisa de um tubo para sucção da água.

As bombas volumétricas ou bombas de deslocamento positivo, operam por meio de mecanismos de movimento sucessivos que força o deslocamento do fluido. Normalmente são indicadas para movimentação de pequenos volumes de águas em grandes alturas manométrica. Uma vez que, sua eficiência aumenta com o aumento da altura manométrica Pinho e Galdino (2014).

Tanto as bombas centrífugas quanto as bombas volumétricas podem ser acionadas por motores CA ou CC. E a escolha do acoplamento deve ser feita com base em parâmetros como: o volume de água necessário, potência requerida para mover a água, eficiência, custos de aquisição, limitações físicas do local dentre outros. Nesse sentido, na Figura 16, são apresentadas as principais configurações usadas em sistemas de bombeamento fotovoltaico.

Figura 16 – Configurações utilizadas para sistemas de bombeamento fotovoltaico.



Fonte: Pinho e Galdino (2014).

Onde observa-se que as bombas centrífugas são mais comuns, tanto em sistemas com motor CA quanto nos de motor CC.

## 2.5 PROCESSO DE DIMENSIONAMENTO

### 2.5.1 Validação da motobomba

O dimensionamento do sistema fotovoltaico isolado para irrigação ocorrer a partir da escolha ou validação da motobomba usada para operação na propriedade. Uma vez que, são os parâmetros desse equipamento que determinarão a potência que o sistema fotovoltaico deverá fornecer (Pinho; Galdino, 2014).

Para isso, são necessárias quatro informações do local. A demanda diária de água na propriedade ( $Q_d$ ), as horas de sol pleno ( $HSP$ ), a vazão volumétrica mínima para a motobomba ( $Q_{mb}$ ) e a altura manométrica do sistema de irrigação ( $H_m$ ) (Pinho; Galdino, 2014).

A demanda diária de água para irrigação é determina com base na cultura cultivada. De modo que, pode ser calculada pelo produto entre o número de plantas e a exigência hídrica da cultura, conforme a Equação 1 (Rego Junior, 2023).

$$Q_d = N_p \cdot L_p \quad (1)$$

Onde:

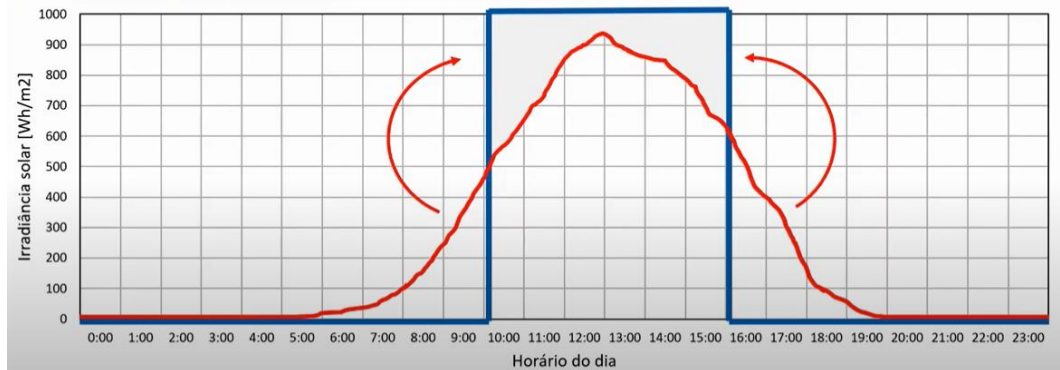
$Q_d$  – Demanda diária de água (m<sup>3</sup>/dia);

$N_p$  – Número de plantas;

$L_p$  – Volume de água por planta (litros/dia).

As horas de sol pleno (*HSP*), servem para estimar quantas horas efetivas um painel fotovoltaico poderia operar com sua potência de pico em determinada região da terra, uma vez que, corresponde a concentração da irradiação solar<sup>5</sup> (*H*) em uma quantidade de horas que a irradiância energética permanece igual a 1000 W/m<sup>2</sup>, conforme ilustra a Figura 17 (Weg Solar, 2020)..

Figura 17 – Concentração da energia solar diária em horas de sol pleno.



Fonte: Weg Solar (2020).

No cálculo das horas de sol pleno, é necessário conhecer a irradiação no local de estudo fornecida de maneira mensal em bancos de dados especializados. Com a literatura recomenda que para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos seja utilizado como parâmetro o mês com menor irradiação. De modo que, o sistema tende a operar com maior eficiência nos meses que a irradiação for superior ao valor de projeto. Para o cálculo aplica-se a Equação 2, conforme a metodologia usada por Pinho e Galdino (2014).

$$HSP = \frac{H}{1000 [W/m^2]} \quad (2)$$

Onde:

*HSP* – Horas de sol pleno (horas/dia);

*H* – Irradiação solar diária média mensal (KWh/m<sup>2</sup>. dia).

<sup>5</sup> Irradiação solar – É a energia solar que incide em uma determinada área em um intervalo de tempo, dada em Wh/m<sup>2</sup> (Santos, 2023).

A vazão volumétrica da motobomba ( $Q_{mb}$ ), corresponde ao volume de água que o equipamento deve ser capaz de movimentar por hora. Esse parâmetro está relacionado a razão entre a demanda diária de água no local e a quantidade de horas de sol pleno disponível para manter a bomba em funcionamento. Sendo calculada pela Equação 3, conforme a metodologia de Weg Solar (2020).

$$Q_{mb} = \frac{Q_d}{HSP} \quad (3)$$

Onde:

$Q_{mb}$  – Vazão volumétrica da bomba (m<sup>3</sup>/hora);

$Q_d$  – Demanda diária de água (m<sup>3</sup>/dia);

$HSP$  – Horas de sol pleno (horas/dia).

A altura manométrica ( $H_m$ ) é um parâmetro complexo, que de modo geral ele está relacionado a estrutura da propriedade. Ela corresponde altura geométrica entre a motobomba e o reservatório, somado as perdas de cargas do sistema, relacionados ao comprimento da tubulação os tipos de conexões e fatores de perdas nos trechos entre a captação e o ponto de entrega dessa água, sendo dada em metros de coluna d'água<sup>6</sup> (m.c.a.). Dessa forma, o cálculo simplificado da altura manométrica do sistema é dado pela Equação 4, adaptada de (Pinho; Galdino, 2014; Franklin Eletric, 2024).

$$H_m = h_g + (C_t + F_t) + F_c \quad (4)$$

Onde:

$H_m$  – Altura manométrica corrigida (m.c.a.);

$h_g$  – Altura geométrica (m);

$C_t$  – Comprimento da tubulação (m);

$F_t$  – Fator de perda na tubulação (%);

$F_c$  – Fator de perda nas conexões (%)

O fator de perda na tubulação que é disponibilizado pelo fabricante de motobomba de forma tabelada e o fator de perda nas conexões quando não há informações a respeito de todos os componentes hidráulicos do sistema pode ser fixado em 5%, conforme a metodologia de Franklin Eletric (2024).

---

<sup>6</sup> Metros de coluna d'água: unidade usada para quantificar a pressão hidráulica. 1 m.c.a equivale a pressão da água quando ela está caindo de uma altura de 1 metro.

### 2.5.2 Sistema gerador fotovoltaico

Para o dimensionamento do sistema gerador primeiro é realizada uma estimativa da energia consumida na propriedade para o acionamento do sistema de bombeamento. Uma das formas de fazer essa estimativa é por meio do produto entre a potência da motobomba e o tempo de operação desses equipamentos. De modo que, nesse estudo o cálculo da energia necessária é dado pela Equação 5, conforme a metodologia de (Bruning, 2022).

$$E_e = P_{mb} \times H_{OP} \quad (5)$$

Onde:

$E_e$  – Energia consumida diariamente (Wh/dia);

$P_{mb}$  – Potência da motobomba (W);

$H_{OP}$  – Tempo de operação (horas/dia)

O cálculo da potência necessária de geração que o sistema deve fornecer a propriedade ( $P_{FV}$ ). Considera o valor de energia consumida diariamente, as horas de sol pleno e a taxa de desempenho real de um sistema fotovoltaico. Sendo definida pela Equação 7, conforme descrito por (Bruning, 2022). (Moraes, 2022).

$$P_{FV} = \frac{E_e}{HSP \times F_D} \quad (6)$$

Onde:

$P_{FV}$  – Potência mínima necessária diariamente (Wp);

$E_e$  – Energia consumida diariamente (Wh/dia);

$HSP$  – Horas de sol pleno (h/dia);

$F_D$  – Taxa de desempenho (%).

No Brasil sob condições ideais de irradiação solar, baixo índice de sombreamento e ventilação adequada nos módulos fotovoltaicos, a taxa de desempenho dos sistemas ficam na faixa de 70% a 80% (Pinho; Galdino, 2014).

Com Pinho e Galdino (2014) apontando a taxa de desempenho ( $F_D$ ), contabiliza as perdas de eficiência relacionadas a queda de tensão devido a resistência dos conectores e cabeamento, sombreamento no local de instalação, acúmulo de sujeiras na superfície dos módulos, temperatura operacional, inversor, erros de orientação dos módulos em relação ao sol, dentre outros.

### 2.5.3 Inversor de frequência

Na escolha do inversor, recomenda-se que a potência do mesmo seja igual ou superior a potência instalada, ou seja, maior que o somatório das potências das cargas. Nesse sentido, avalia-se o Fator de Dimensionamento do Inversor ( $FDI$ ), um parâmetro cuja otimização exigiria simulação numérica. Mas que pode ser simplificado como a relação entre a potência nominal do inversor (c.a) e a potência de geração do sistema fotovoltaico, conforme a Equação 7. Sendo recomendado por fabricantes um  $FDI$  na faixa de 0,75 a 1,05 (Pinho; Galdino, 2014).

$$FDI = \frac{P_{IN}}{P_{FV}} \quad (7)$$

Onde:

$FDI$  – Fator de dimensionamento do inverso (adimensional);

$P_{IN}$  – Potência do inversor (W);

$P_{FV}$  – Potência mínima necessária diariamente (Wp).

A soma das tensões dos módulos associados em série resulta a tensão aplicada na entrada do inversor. Nesse sentido, dada a dependência da tensão em relação a temperatura, as condições de temperatura no local devem ser consideradas no dimensionamento (Pinho; Galdino, 2014).

Com isso, surge a necessidade de limitar o número de módulos conectados em série em um sistema fotovoltaico. Garantido que as variações de tensões do bloco gerador fotovoltaico sejam compatíveis com a faixa de tensão de operação do inversor. Para isso são calculados a tensão de circuito aberto e a tensão no máximo ponto de potência dos módulos, ambos no local de instalação (Furtado, 2020).

Na metodologia apresentada por Weg Automação (2020), Furtado (2020) e Weg Solar (2020), para determinar o número de módulos em série é necessário que o projetista do sistema, estabeleça dois valores extrapolados de temperatura máxima e mínima, baseados em informações do local de instalação.

Dessa forma, esses extremos de temperatura são utilizados para calcular a tensão de circuito aberto em campo ( $V_{OC}$ ) com a temperatura mínima e a tensão no ponto máximo de potência em campo ( $V_{MP}$ ) com a temperatura máxima. Conforme a Equação 8 e Equação 9 respectivamente.

$$V_{OC} = V_{OC(STC)} \times (1 + \beta_{V_{CO}} \times (T_{mín.} - 25)) \quad (8)$$

Onde:

$V_{OC}$  – Tensão de circuito aberto do módulo no local (V);

$V_{OC(STC)}$  – Tensão de circuito aberto do módulo em condição teste (V);

$T_{mín}$  – Temperatura mínima de operação no local (°C);

$\beta_{VCO}$  – Coeficiente de temperatura (circuito aberto) (%/°C).

$$V_{MP} = V_{MP(STC)} \times (1 + \beta_{MPP} \times (T_{máx.} - 25)) \quad (9)$$

Onde:

$V_{MP}$  – Tensão no ponto máximo de potência do módulo no local (V);

$V_{MP(STC)}$  – Tensão no ponto máximo de potência em condição teste (V);

$T_{máx.}$  – Temperatura máxima de operação no local (°C);

$\beta_{MP}$  – Coeficiente de temperatura (ponto máximo de potência) (%/°C).

#### 2.5.4 Número de módulo fotovoltaico

Com a variação de tensão estabelecida, a próxima etapa é usar o limite de tensão inferior e superior do barramento interno do inversor, para definir o número de módulos por fileiras no sistema (Furtado, 2020).

Isso porque, “Os inversores de frequência trabalham com faixa de proteção contra subtensão e sobretensão, de tal forma que se a tensão alcança estes valores limites, o inversor interromperá seu funcionamento” (Weg Automação, 2020, p. 9).

Para isso, é utilizada a Equação 10, onde a razão entre o limite inferior do barramento ( $V_{INmin.}$ ) e a tensão no máximo ponto de potência do módulo no local, resultam no limite mínimo de módulos em série ( $N_{mín.série}$ ).

Enquanto a Equação 11, onde a razão entre o limite superior do barramento ( $V_{INmáx.}$ ) e a tensão de curto-circuito do módulo no local, resultam no limite máximo de módulos em série ( $N_{máx.série}$ ).

$$N_{mín.série} = \frac{V_{INmin.}}{V_{MP}} \quad (10)$$

Onde:

$N_{min\,série}$  – Limite mínimo de módulos conectados em série;

$V_{IN\,min.}$  – Tensão mínima admissível no barramento do inversor (Vcc);

$V_{MP}$  – Tensão no ponto máximo de potência do módulo no local (V).

$$N_{máx.série} = \frac{V_{IN\,máx.}}{V_{OC}} \quad (11)$$

Onde:

$N_{máx\,série}$  – Limite máximo de módulos conectados em série;

$V_{IN\,máx.}$  – Tensão máxima admissível no barramento do inversor (Vcc);

$V_{OC}$  – Tensão de circuito aberto do módulo no local (V).

Depois de conhecer o número máximo e mínimo de módulos permitido por fileira. Determina-se o número de fileiras em paralelo que o inversor suporta. Para isso, considera-se a corrente máxima do inversor ( $I_{IN}$ ) e a corrente do módulo no ponto de máxima potência ( $I_{MP}$ ), conforme a Equação 12 (Furtado, 2020).

$$N_{fileira} = \frac{I_{IN}}{I_{MP}} \quad (12)$$

Onde:

$N_{fileira}$  – Número de fileira em paralelo;

$I_{IN}$  – Corrente máxima do inversor (A);

$I_{MP}$  – Corrente do módulo (A).

De acordo com Oliveira (2018), para estimar a energia gerada pelo sistema fotovoltaico, avalia-se a capacidade de geração elétrica individual de cada módulo que compõe o arranjo e com isso extrapola-se o valor para o conjunto. Algo que é válido devido o sistema fotovoltaico dimensionado ser constituído de módulos com características idênticas.

Para essa análise, são utilizadas informações como a área que um módulo é capaz de ocupar fisicamente. Além de, fatores com a eficiência desse equipamento e a quantidade de horas de sol pleno disponível no local em que ele será instalado. Sendo calculada pela Equação 13 (Oliveira, 2018).

$$E_{G\,Módulo} = A_M \times \eta_M \times HSP \quad (13)$$

Onde:

$E_{G_{Módulo}}$  – Energia gerada por um módulo fotovoltaico (KWh/dia);

$A_M$  – Área de um módulo fotovoltaico (m<sup>2</sup>);

$\eta_M$  – Eficiência de um módulo fotovoltaico (%);

$HSP$  – Horas de sol pleno (KWh/m<sup>2</sup>.dia).

### 3 METODOLOGIA

Neste tópico, serão abordados todos os aspectos metodológicos do estudo realizado, descrevendo-se os procedimentos necessários e uteis para dimensionar e analisar a viabilidade financeira da implantação de um sistema fotovoltaico isolado, para o acionamento de motobombas elétricas usada na irrigação de açaí (*Euterpe oleracea Mart.*), em uma pequena propriedade de agricultura familiar, no Quilombo de Umarizal, Baião/PA.

O presente estudo tem por finalidade realizar uma pesquisa de natureza básica, uma vez que, faz uso de conceitos já estabelecidos. Mas busca gerar novos conhecimentos, úteis para a melhoria das teorias científicas a respeito do tema (Prodanov, 2013).

Para alcançar os objetivos propostos e melhor apreciação deste trabalho, foi realizada uma pesquisa caracterizada como exploratória, com uma abordagem quantitativa do assunto. Exploratória, porque de acordo com Gil (2008), esse tipo de pesquisa permite desenvolver e esclarecer conceitos e ideias acerca dos temas abordados, sendo possível apresentar um novo tipo de enfoque para o assunto, como no caso da energia solar fotovoltaica e sua aplicação na agricultura familiar quilombola. E quantitativa porque, traduz em números as informações encontradas, para depois analisá-las. Em uma pesquisa de natureza quantitativa a formulação de hipóteses para relacionar as variáveis garante maior precisão nos resultados (Prodanov, 2013).

Além disso, a pesquisa ainda pode ser classificada como bibliográfica, de campo e documental. Bibliográfica, porque o trabalho foi desenvolvido baseado em pesquisas e materiais já publicados. De campo, porque foram realizadas observações e coletas de dados sobre aspectos físicos e operacionais na propriedade rural, a fim de definir e classificar as variáveis. E documental, porque utilizou-se também materiais com dados primários referente ao tema, sem um tratamento analítico prévio, algo que permite uma avaliação de acordo com os objetivos da pesquisa (Prodanov, 2013).

Os dados utilizados neste estudo foram coletados por meio de medições na propriedade, coleta de dados em sites especializados e diálogos com a proprietária, para entender as principais necessidades e dificuldades existentes no local da pesquisa. Além disso, para os cálculos necessários foi utilizado majoritariamente o software Excel da Microsoft. As visitas foram realizadas entre os meses de janeiro a dezembro de 2024.

### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

A propriedade estudada está localizada a 5 Km de distância de Umarizal Beira no Quilombo de Umarizal, onde a proprietária reside, mapa na Figura 18. Possui uma área produtiva de aproximadamente 4 hectares, distribuída entre algumas árvores frutíferas, lavoura de mandioca e a lavoura de 1 hectare com mudas de açaí.

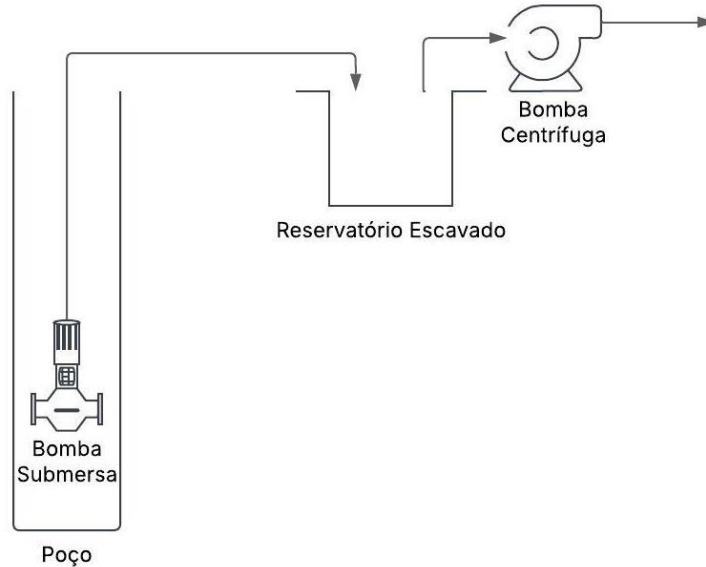
Figura 18 – Mapa com a localização da propriedade (seta branca).



Fonte: Google earth pro® (2024).

O sistema de irrigação que a proprietária pretende implementar utiliza o método de aspersão, acionado por meio de duas motobomba elétricas. A primeira é uma bomba submersa, responsável por levar a água do poço até um reservatório na superfície. Enquanto a segunda, é uma bomba centrífuga responsável por movimentar a água do reservatório até os aspersores na lavoura, conforme ilustra a Figura 19.

Figura 19 – Esquema representativo da operação das motobombas.



Fonte: Autor

No que se refere a operação diária no local, a proprietária reside na Comunidade de Umarizal Beira e precisa se deslocar até o local de trabalho, onde as atividades são desenvolvidas essencialmente no período matutino, normalmente das 07:00 às 12:00 horas da manhã.

A propriedade não possui energia elétrica disponível e está situada em área de floresta, o que significa que para a operação do sistema de bombeamento convencional haveria a necessidade de instalação de um ramal de energia.

É nesse contexto, que a proposta de um sistema fotovoltaico isolado e sem armazenamento em bateria para acionamento pontual das duas motobombas, surge como uma alternativa a ser avaliada.

### 3.2 ESTUDO DE CASO

A demanda hídrica para a propriedade foi calculada considerando 320 touceiras<sup>7</sup> de açaí com 3 a 4 estipes<sup>8</sup> com exigência hídrica diária de 100 litros de água por touceira (Homma *et al.*, 2019; Vieira *et al.*, 2018). De modo que, aplicando a Equação 1, temos:

$$Q_d = 320 \cdot 100 \text{ litros/dia} = 32.000 \text{ litros/dia}$$

Sendo que, a demanda hídrica total para esse sistema de irrigação é o somatório das duas culturas. Resultando em uma demanda hídrica diária igual a  $Q_d = 32 \text{ m}^3/\text{dia}$ .

Para as horas de sol pleno, o valor de irradiação solar diária média mensal no local do estudo ( $H$ ) foi obtido utilizando-se as coordenadas geográficas da propriedade no programa SunData v3.0 do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (Cresesb, 2018).

Nesse sentido, as coordenadas da propriedade foram definidas na latitude 2°51'22" sul e longitude 49°47'29" oeste. E o programa SunData v3.0 forneceu os valores de irradiação na região de Baião-PA, com os dados resultantes sendo apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Irradiação solar diária média mensal na região de Baião/PA (Dados de 26 de junho de 2025).

Mês	Irradiação Solar [Kwh/m <sup>2</sup> ]
Janeiro	4,49
Fevereiro	4,59
Março	4,66
Abril	4,71
Mai	4,74
Junho	4,90
Julho	5,00
Agosto	5,28
Setembro	5,17
Outubro	4,96
Novembro	4,70
Dezembro	4,48
<b>Média anual</b>	<b>4,81</b>

Fonte: Adaptado de Cresesb (2018)

Nesse caso, o mês com menor irradiação é dezembro com uma média de 4,48 KWh/m<sup>2</sup>dia. Aplica-se a Equação 2.

$$HSP = \frac{4,48 \text{ KWh/m}^2\text{dia}}{1 \text{ KW/m}^2} = 4,48 \text{ horas/dia}$$

<sup>7</sup> Touceira: Agrupamento de caules em diferentes estágios de uma planta, resultante da capacidade de perfilhamento desta (Aguiar, 2016).

<sup>8</sup> Estipe: Caule do açaizeiro.

O que resulta nas horas de sol pleno igual a  $HSP = 4,48 \text{ h/dia}$ .

A vazão volumétrica para a motobomba é calculada ao substituir os valores de demanda hídrica diária e horas de sol pleno na Equação 3.

$$Q_{mb} = \frac{32 \text{ m}^3/\text{dia}}{4,48 \text{ h/dia}} = 7,1 \text{ m}^3/\text{hora}$$

Resultando em uma vazão volumétrica de  $Q_{mb} = 7,1 \text{ m}^3/\text{horas}$  exigida da motobomba.

Para o cálculo da altura manométrica, os parâmetros medidos no campo e informações disponibilizadas pelo fabricante Franklin Eletric (2024), são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Dados da propriedade e do sistema de irrigação.

<b>Informações de Campo</b>	
Profundidade total do poço	20 [m]
Altura geométrica trecho 1 (bomba - reservatório)	15 [m]
Comprimento da tubulação trecho 1	20 [m]
Altura geométrica trecho 2 (reservatório - lavoura)	3 [m]
Comprimento da tubulação trecho 2	135 [m]
Vazão mínima para as motobombas	7,1 [m <sup>3</sup> /hora]
Fator de perda na tubulação ( $F_t$ )	4,6 [%]
Fator de perda nas conexões ( $F_c$ )	5,0 [%]

Fonte: Autor (2024).

De modo que, o cálculo da altura manométrica é feito para os dois trechos do sistema de bombeamento, substituindo os valores referentes na Equação 4:

No trecho 1:

$$H_{m1} = 15 \text{ m} + (20 \text{ m} \times 4,6\%) + 5\% = 15,97 \text{ m. c. a.}$$

No trecho 2:


$$H_{m2} = 3 \text{ m} + (135 \text{ m} \times 4,6\%) + 5\% = 9,26 \text{ m. c. a.}$$

O que resulta em uma altura manométrica de  $H_{m1} = 15,97 \text{ m. c. a.}$  no trecho 1 entre a bomba submersa e o reservatório. E a altura manométrica de  $H_{m2} = 9,26 \text{ m. c. a.}$  no trecho 2 entre o reservatório e a lavoura.

Para a escolha da motobomba submersa utilizou-se como parâmetros de seleção, a vazão volumétrica e altura manométrica referente ao trecho 1 na tabela de seleção do fabricante, Figura 20.



Tabela 5 – Dados da motobomba centrífuga.

Descrição	Dados	Imagem
Marca	Schneider	
Modelo	BC-91 S	
Potência	1/2 cv (367,749 w)	
Altura de sucção	8 m.c.a.	
Vazão	7,2 m³/h	
Altura manométrica	10 m.c.a.	

Fonte: Franklin Eletric (2025).

Para determinar a energia consumida na propriedade foi levado em consideração a potência das duas motobombas usadas no sistema de irrigação e o tempo de operação diário deste, que para efeito de cálculo considerou-se igual a horas de sol pleno disponíveis 4,48 horas diárias. Aplicando os valores na Equação 5, com os resultados mostrados na Tabela 6.

Tabela 6 – Energia consumida pelo sistema de bombeamento.

Equipamento	Potência (W)	H <sub>OP</sub> (h/dia)	Consumo (Wh/dia)
Motobomba submersa	735,5	4,48	3295,04
Motobomba centrífuga	367,75	4,48	1647,52
<b>Energia consumida</b>			<b>4942,55</b>

Fonte: Autor.

Resultando em uma energia consumida pelo sistema de bombeamento de  $E_e = 4942,55 \text{ Wh/dia}$ .

Para o cálculo da potência mínima demanda considerou-se o valor intermediário de 75% como a taxa de desempenho de sistema fotovoltaico. E com isso, aplica-se esse e os valores de energia consumida diariamente e horas de sol pleno na Equação 6.


$$P_{FV} = \frac{4942,55 \text{ Wh/dia}}{4,48 \text{ h/dia} \times 75 \%} = 1471,00 \text{ Wp}$$

Resultando em uma potência mínima demanda do sistema fotovoltaico de  $P_{FV} = 1471,00 \text{ Wp}$ .

A escolha do modulo fotovoltaico foi realizada por meio de pesquisas na internet, levando em conta a confiabilidade de mercado da fabricante, disponibilidade do produto e rede de atendimento ao cliente no Brasil.

Para esse estudo o módulo fotovoltaico selecionado foi do fabricante Era Solar, modelo ERA-RC-66HC600M. Com potência de 600 W, corrente de 15,21 A e tensão de 39,44 V. Com célula monocristalina do tipo Half-Cell de alta eficiência 22%. Outras informações referentes ao modulo fotovoltaico estão na Tabela 7 e as demais informações estão no Anexo 1.

Tabela 7 – Dados do módulo fotovoltaico.

Descrição	Dados	Imagem
Potência nominal ( $P_{max}$ )	600 W	
Tensão na máxima potência ( $V_{MP(STC)}$ )	39,44 V	
Corrente na máxima potência ( $I_{MP(STC)}$ )	15,21 A	
Tensão de circuito aberto ( $V_{OC(STC)}$ )	47,70 V	
Corrente de curto-circuito ( $I_{OC(STC)}$ )	15,95 A	
Eficiência do módulo	22,20 %	
Área do módulo	2,7 m <sup>2</sup>	
Peso	28,2 Kg	
Coefficiente de temperatura ( $\beta_{V_{CO}}$ )	-0,24 %/°C	
Coefficiente de temperatura ( $\beta_{MP}$ )	-0,30 %/°C	
Coefficiente de temperatura ( $I_{SC}$ )	+0,043 %/°C	
Temperatura de operação	-40°C a +85°C	

Fonte: Adaptado de Era Solar (2024)

Nesse estudo será utilizado um único inversor central (CC-CA), com todos os módulos conectados a ele seguindo a mesma metodologia aplicada por Furtado (2020). E para a seleção do equipamento utilizou-se a tabela de seleção de Weg Automação (2020), conforme a Figura 22.

Figura 22 – Seleção do inversor solar.


CFW500			Motor máximo aplicável				
Referência	Tensão de alimentação (V)		Tamanho	Corrente nominal de saída (A)	Tensão de alimentação (V)	Potência nominal do motor	
	Monofásica ou trifásica	200-240 V ca ou 310 V cc				cv	kW
Inversor CFW500A01P6S2NB20H03SD PT 14038720			Monofásica ou trifásica	200-240 V ca ou 310 V cc	A		
Inversor CFW500A02P6S2NB20H03SD PT 14038721	2,6	0,5				0,37	
Inversor CFW500A04P3S2NB20H03SD PT 14038722	4,3	1				0,75	
Inversor CFW500A07POS2NB20H03SD PT 14038725	7,3	2				1,5	
Inversor CFW500B10POB2DB20H03SD PT 14038806	Trifásica	200-240 V ca ou 310 V cc	B	10	220	3	2,2
Inversor CFW500A07POT2NB20H03SD PT 14038807				A		7	2
Inversor CFW500A09P6T2NB20H03SD PT 14038858			9,6			3	2,2
Inversor CFW500B16POT2DB20H03SD PT 14038860			B	16		5	3,7
Inversor CFW500C24POT2DB20H03SD PT 14038861				C		24	7,5
Inversor CFW500D28POT2DB20H03SD PT 14038862			D			28	10
Inversor CFW500D33POT2DB20H03SD PT 14038899				33		12,5	9
Inversor CFW500D47POT2DB20H03SD PT 14038901			E	47		15	11
Inversor CFW500E56POT2DB20H03SD PT 14038903				56		20	15

Fonte: Weg Automação (2020).

E o inversor solar selecionado foi da linha CFW500 – Solar Drive, da fabricante WEG, modelo CFW500A07POS2NB20H03SD – PT 14038725, com potência nominal de 2 Cv (1470,98 W) e corrente nominal de 7,3 A. Com rastreamento do ponto máximo de máxima potência

instalada, controle de tensão (cc), função dormir/despertar e contador de horas de funcionamento e KWh produzidos. Outras informações referentes ao inversor solar estão na Tabela 8.

Tabela 8 – Dados do inversor de frequência.

Descrição	Dados	Imagem
<b>Dados elétricos de entrada CC</b>		
Proteção de Subtensão	200 Vcc	
Proteção de Sobretensão	410 Vcc	
Tensão de funcionamento	250 - 380 Vcc	
<b>Dados elétricos de saída CA</b>		
Potência nominal	2 Cv	
Tensão de alimentação	Monofásico ou Trifásico	
Corrente nominal	7,3 A	

Fonte: Adaptado de Energia Total (2024).

Com isso, o fator de dimensionamento do inversor calculado aplicando-se a potência demanda e a potência do inversor na Equação 7.

$$FDI = \frac{1470,98 W}{1471,00 W_p} = 0,99$$

Resultando em um  $FDI = 0,99$  dentro da faixa recomendada de 0,75 a 1,05.

Para calcular a variação de tensão do sistema em condições extremas de temperatura e evitar falhas de subtensão e sobretensão no inversor. Estabeleceu-se os valores extrapolados de temperatura máxima  $T_{max.} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$  e mínima  $T_{min.} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$  conforme a metodologia de Furtado (2020). Valores validos como extremos, dado que na localização geográfica da propriedade a variação média ao longo do ano fica entre  $23 \text{ }^\circ\text{C} \sim 35 \text{ }^\circ\text{C}$  e raramente é inferior a  $22 \text{ }^\circ\text{C}$  ou superior a  $38 \text{ }^\circ\text{C}$  (Weather Spark, 2024).

Quanto aos demais dados, como  $V_{OC(STC)}$ ,  $\beta_{V_{CO}}$ ,  $V_{MP(STC)}$  e  $\beta_{MP}$  estão disponíveis na folha de dados do módulo fotovoltaico, dispostos na Tabela 4.

Com isso, ao substituir os valores referentes a Equações 8, é definida a tensão de curto-circuito no local.

$$V_{OC} = 47,70 V \times (1 + (10 \text{ }^\circ\text{C} - 25) \times (-0,24 \text{ } \%/^\circ\text{C})) = 49,42 V$$

E ao substituir os valores referentes a Equações 9 é definido a tensão no máximo ponto de potência dos módulos no local de instalação.

$$V_{MP} = 39,44 \text{ V} \times (1 + (70 \text{ }^\circ\text{C} - 25) \times (-0,30 \text{ } \%/^\circ\text{C})) = 34,12 \text{ V}$$

Resultando em uma tensão de circuito aberto do módulo no local  $V_{OC} = 49,42 \text{ V}$  e uma tensão no ponto máximo de potência do módulo no local  $V_{MP} = 34,12 \text{ V}$ .

Com a tensão de curto-circuito e tensão do máximo ponto de potência calculadas para o local, juntamente com as informações referentes aos limites de barramento do inversor  $V_{IN_{mín.}}$  e  $V_{IN_{máx.}}$  disponíveis na Tabela 8.

Substitui-se os valores referentes a Equações 10, estabelecendo-se o número mínimo de módulos em série.

$$N_{mín.série} = \frac{200}{34,12} = 5,86$$

E substituído os valores referentes a Equação 11 é definido o número máximo de módulos em série tolerado pelo inversor.

$$N_{máx.série} = \frac{410}{49,42} = 8,30$$

O número de módulos em série para que o inverso possa operar com segurança deve estar entre 5 e 8 unidades. De modo que, para esse estudo foram utilizados 6 módulos em série.

Para estabelecer o número de fileiras em paralelo que o inversor suporta, aplica-se a corrente máxima do inversor e a corrente do módulo no ponto de máxima potência na Equação 12.

$$N_{fileira} = \frac{7,3}{15,21} = 0,48$$

Com o número de fileiras em paralelo calculado em  $N_{fileira} = 0,48$ , conclui-se que o arranjo de uma única fileira é suficiente para o sistema fotovoltaico.

A capacidade de geração de um único módulo é calculada aplicando-se os valores da área do módulo sua eficiência e das horas de sol pleno na Equação 13.

$$E_{G_{Módulo}} = 2,7 \text{ m}^2 \times 22,20 \% \times 4,48 \text{ h/dia} = 2,7 \text{ KWh/dia}$$

Dessa forma, a energia gerada por um único módulo é de  $E_{G_{Módulo}} = 2,7 \text{ KWh/dia}$ .

E para definir a energia gerada diariamente pelo sistema completo ( $E_{G_{Sistema}}$ ), deve-se multiplicar a capacidade de geração de um módulo pela quantidade de 6 (seis) módulos conectados em série representa o arranjo utilizado nesse estudo. O que resultaria em uma geração energética diária do sistema de  $E_{G_{Sistema}} = 16,11 \text{ KWh/dia}$ .

Para a estimativa de geração de energia mensal e anual, é necessário considerar que o sistema está sendo projetado para operar principalmente nos meses sem chuva na região. De modo que para os meses com maior disponibilidade pluviométrica e menor incidência solar, a operação do sistema ocorra com menor frequência.

Nesse contexto, a Tabela 9 apresenta a estimativa média de geração dessa instalação, em função do número de dias de operação em diferentes meses ao longo de um ano. Para isso considerou-se a energia diária do sistema, com uma operação de 30 dias nos meses de estiagem e 10 dias nos meses de chuva regular.

Tabela 9 – Estimativa de geração de energia mensal e anual.

<b>Mês</b>	<b>Operação (dias)</b>	<b>Geração de Energia (KWh/mês)</b>
Janeiro	10	161,12
Fevereiro	10	161,12
Março	10	161,12
Abril	10	161,12
Maio	30	483,36
Junho	30	483,36
Julho	30	483,36
Agosto	30	483,36
Setembro	30	483,36
Outubro	30	483,36
Novembro	10	161,12
Dezembro	10	161,12
<b>Geração Energética Anual (KWh/ ano)</b>		<b>3.866,85</b>

Fonte: Autor.

Portanto, o sistema fotovoltaico dimensionado dispõe de uma capacidade de geração elétrica anual de  $E_{G_{Sistema}} = 3.866,85 \text{ KWh/ano}$ .

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na análise dos resultados desse estudo, primeiramente elaborou-se uma estimativa de orçamento para o projeto. A partir disso utilizou-se a relação entre o investimento inicial e a economia financeira estimada com o uso do sistema fotovoltaico ao longo dos anos.

Nesse sentido considerou-se dois cenários possíveis para a implantação do sistema na propriedade.

No cenário 1, os valores de investimento inicial e demais custo de manutenção do sistema seriam pagos diretamente pela proprietária.

No cenário 2, os valores de investimento inicial e o custo de manutenção do sistema nos primeiros 4 anos seria proveniente de um financiamento disponibilizado pelo programa nacional de fortalecimento da agricultura familiar – Pronaf Bioeconomia.

E a partir disso avaliou-se a viabilidade do projeto a partir dos índices financeiros: taxa mínima de atratividade, valor presente líquido, taxa interna de retorno e *payback*.

### 4.1 ORÇAMENTO

O orçamento do projeto para determinar o investimento inicial, foi realizado considerando os valores da compra das motobombas elétrica, dos módulos fotovoltaicos, do inversor de frequência e dos cabos fotovoltaicos e de conexão com as motobombas. Além de, custos com a mão de obra, para instalação do sistema.

Os preços referentes aos equipamentos dos sistemas, foram consultados em sites especializados. A fim de, apresentar uma opção viável de compra e entrega desses equipamentos na propriedade.

Por questão de simplificação, valores referentes estrutura de fixação, *string box* e dispositivos de proteção do sistema, não foram adicionados a esses cálculos.

O dimensionamento dos cabos fotovoltaicos (CC) seguiu a recomendação do fabricante dos módulos com as dimensões de 4,0 mm<sup>2</sup>. Enquanto para cabo de conexão das motobombas (CA) o dimensionamento seguiu a indicação do fabricante desses equipamentos, conforme a Figura 23.

Figura 23 – Tabela de consulta rápida para bitola de fios

		Bitolas de fios condutores de COBRE, para ligação de motores elétricos MONOFÁSICOS, admitindo queda máxima de tensão de 4%, conforme NBR 5410.																	
Tensão da rede (V)	Potência do motor (cv)	Distância do motor ao quadro geral de distribuição (m)																	
		10	20	30	40	50	75	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600		
		Bitola do fio condutor (mm <sup>2</sup> )																	
127	1/6, 1/4	2,5	2,5	2,5	2,5	4	6	6	10	16	16	25	25	35	35	50	70	70	95
	1/3, 1/2	2,5	2,5	4	6	6	10	16	25	25	35	35	50	70	70	95	95	120	150
	3/4, 1	2,5	4	6	10	10	16	16	25	35	50	70	70	95	95	120	150	185	240
	1,5	4	6	10	10	16	25	25	50	70	70	95	120	150	150	185	240	300	300
	2	4	6	10	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	185	240	300	300	300
	3	6	6	10	16	16	25	35	70	95	95	120	150	185	240	300	300	300	300
220	1/6, 1/4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	4	6	6	10	10	16	16	16	16	16	16	16
	1/3, 1/2	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	4	6	6	10	10	16	16	16	16	16	16	16
	3/4, 1	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	4	6	10	10	16	16	16	25	25	25	35	35	35
	1,5	2,5	2,5	2,5	2,5	4	6	10	10	16	16	16	25	25	25	35	35	35	50
	2	2,5	2,5	2,5	4	4	6	10	16	16	25	25	35	35	50	50	50	70	70
	3	2,5	2,5	2,5	4	4	6	10	16	25	25	35	35	50	50	50	70	70	70
	4	2,5	2,5	4	6	6	10	16	25	35	35	50	70	70	70	70	95	120	120
	5	4	4	4	6	10	10	16	25	35	35	50	70	70	95	95	120	120	120
	7,5	6	6	6	10	10	16	25	35	50	70	95	95	120	150	150	185	240	240
	10	10	10	10	16	16	25	35	50	70	95	120	120	150	185	240	240	300	300
	12,5	16	16	16	16	25	35	50	70	95	120	185	240	300	300	400	400	400	400
440	4	2,5	2,5	2,5	2,5	4	4	6	10	10	16	16	16	16	16	25	25	25	25
	5	2,5	2,5	2,5	2,5	4	4	6	10	10	16	16	16	16	16	25	25	25	25
	7,5	2,5	2,5	2,5	2,5	4	4	6	10	10	16	16	16	16	25	25	25	35	35
	10	2,5	2,5	2,5	2,5	4	6	6	10	16	16	25	25	35	35	35	35	50	50
	12,5	6	6	6	6	6	10	10	16	25	25	35	35	50	50	70	70	70	70
	15	6	6	6	6	6	10	10	16	25	25	35	35	50	50	70	70	70	70

Fonte: Franklin Eletric (2025).

A contratação de uma empresa especializada nesse tipo de serviço para a montagem da estrutura, conexões dos equipamentos e ainda a limpeza anual desses componentes, é uma etapa essencial do projeto. De modo que, esse é um fator que garante maior eficiência e durabilidade para a operação do sistema (Oliveira, 2018).

Utilizando como referência a consulta de mercado realizada por Moraes (2022), com empresas de energia solar na região de Tucuruí-PA. A estimativa média dos serviços de mão de obra para instalação fotovoltaica residencial, ficava entre 40% e 60% da soma do preço dos módulos e inversor solar (Moraes, 2022).

Nesse contexto, o orçamentário do projeto é apresentado na Tabela 10. A taxa considerada para a mão de obra especializada foi de 50% da soma de custos do inversor e módulos.

Tabela 10 – Orçamento do projeto.

<b>Item</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço unitário (R\$)</b>	<b>Frete (R\$)</b>	<b>Preço total (R\$)</b>
Motobomba Submersa	1 un.	1.340,50	174,42	1.514,92
Motobomba Centrifuga	1 un.	830,00	115,50	945,50
Inversor Solar	1 un.	2.789,07	98,21	2.887,28
Módulo Fotovoltaico	6 un.	557,07	286,14	3.628,56
Cabo FV (2 vias; 4,0 mm <sup>2</sup> )	5 m	80,00	9,90	89,90
Cabo PP (3 vias; 2,5 mm)	50 m	256,21	64,90	321,11
Mão de obra	-	-	-	3.257,92
<b>TOTAL</b>				<b>12.645,18</b>

Fonte: Autor.

O que resulta em um investimento inicial de R\$ 12.645,18.

## 4.2 CENÁRIO 1

Para determinar o impacto econômico que o uso do sistema fotovoltaico representaria no consumo de energia elétrica da propriedade. Estabeleceu-se uma comparação entre a capacidade de geração de energia do sistema fotovoltaico e o custo que essa energia teria se fosse fornecido pela rede de distribuição da concessionária no local.

Nesse contexto, a tarifa convencional que precifica o quilowatt-hora (kWh) nas propriedades rurais no Estado do Pará encontra-se fixado em 0,93845 R\$/KWh no ano de 2025 (Equatorial Energia, 2024). Com projeção de aumento estimado em 5,6% ao ano para o setor, em conformidade com os dados disponibilizados por Félix (2024) e Exame (2024).

Para um período de 25 anos de operação do sistema, que é o tempo médio da vida útil de um módulo fotovoltaico. Com uma degradação anual de 0,55% na capacidade de geração desses equipamentos (Morato, 2024). Custo de manutenção e limpeza anual de R\$ 150,00 por cada módulo no sistema (Moraes, 2022). E troca de inversor a cada 12 anos conforme estimado pelo fabricante. Foi construída a Tabela 11

Tabela 11 – Estimativa de economia no cenário 1.

Ano	Geração de energia (kWh/ano)	Projeção do Preço da Energia (R\$/kWh)	Economia (R\$/ano)	Custos (R\$/ano)	Fluxo de Caixa Simples (R\$/ano)	Fluxo de Caixa Acumulado (R\$/ano)
2025	INVESTIMENTO INICIAL			-R\$ 12.645,18	-R\$ 12.645,18	-R\$ 12.645,18
2026	3.476,93	0,938	R\$ 3.262,92	-R\$ 900,00	R\$ 2.362,92	-R\$ 10.282,26
2027	3457,81	0,991	R\$ 3.426,70	-R\$ 900,00	R\$ 2.526,70	-R\$ 7.755,56
2028	3438,79	1,046	R\$ 3.598,69	-R\$ 900,00	R\$ 2.698,69	-R\$ 5.056,87
2029	3419,88	1,105	R\$ 3.779,32	-R\$ 900,00	R\$ 2.879,32	-R\$ 2.177,55
2030	3401,07	1,167	R\$ 3.969,01	-R\$ 900,00	R\$ 3.069,01	R\$ 891,46
2031	3382,36	1,232	R\$ 4.168,22	-R\$ 900,00	R\$ 3.268,22	R\$ 4.159,68
2032	3363,76	1,301	R\$ 4.377,43	-R\$ 900,00	R\$ 3.477,43	R\$ 7.637,11
2033	3345,26	1,374	R\$ 4.597,14	-R\$ 900,00	R\$ 3.697,14	R\$ 11.334,25
2034	3326,86	1,451	R\$ 4.827,88	-R\$ 900,00	R\$ 3.927,88	R\$ 15.262,13
2035	3308,56	1,532	R\$ 5.070,20	-R\$ 900,00	R\$ 4.170,20	R\$ 19.432,34
2036	3290,36	1,618	R\$ 5.324,69	-R\$ 900,00	R\$ 4.424,69	R\$ 23.857,03
*2037	3272,27	1,709	R\$ 5.591,94	-R\$ 3.787,28	R\$ 1.804,66	R\$ 25.661,69
2038	3254,27	1,805	R\$ 5.872,62	-R\$ 900,00	R\$ 4.972,62	R\$ 30.634,31
2039	3236,37	1,906	R\$ 6.167,37	-R\$ 900,00	R\$ 5.267,37	R\$ 35.901,68
2040	3218,57	2,012	R\$ 6.476,93	-R\$ 900,00	R\$ 5.576,93	R\$ 41.478,61
2041	3200,87	2,125	R\$ 6.802,02	-R\$ 900,00	R\$ 5.902,02	R\$ 47.380,62
2042	3183,26	2,244	R\$ 7.143,42	-R\$ 900,00	R\$ 6.243,42	R\$ 53.624,04
2043	3165,76	2,370	R\$ 7.501,97	-R\$ 900,00	R\$ 6.601,97	R\$ 60.226,01
2044	3148,34	2,502	R\$ 7.878,50	-R\$ 900,00	R\$ 6.978,50	R\$ 67.204,51
2045	3131,03	2,643	R\$ 8.273,94	-R\$ 900,00	R\$ 7.373,94	R\$ 74.578,46
2046	3113,81	2,791	R\$ 8.689,23	-R\$ 900,00	R\$ 7.789,23	R\$ 82.367,69
2047	3096,68	2,947	R\$ 9.125,36	-R\$ 900,00	R\$ 8.225,36	R\$ 90.593,04
2048	3079,65	3,112	R\$ 9.583,38	-R\$ 900,00	R\$ 8.683,38	R\$ 99.276,42
*2049	3062,71	3,286	R\$ 10.064,39	-R\$ 3.787,28	R\$ 6.277,11	R\$ 105.553,53
2050	3045,87	3,470	R\$ 10.569,54	-R\$ 900,00	R\$ 9.669,54	R\$ 115.223,07

\* Ano de troca do inversor de frequência.

Fonte: Autor.

Podendo ser observado na Tabela 11, uma economia anual progressiva a partir do primeiro ano de uso do sistema, mesmo com o desgaste anual dos módulos fotovoltaicos. De modo que, no 1º ano de operação (2026) o uso do sistema representaria uma economia anual de até R\$ 3 mil. Chegando a aproximadamente R\$ 4 mil no 5º ano de operação (2030) e R\$ 5 mil no 10º ano (2035).

E mesmo com a manutenção anual no valor de R\$ 900,00 e a troca do inversor a cada doze anos. A projeção aponta um fluxo de caixa simples (economia estimada, menos o custo de operação anual) sempre positivo desde o primeiro ano de operação.

#### 4.3 CENÁRIO 2

Para o cenário 2 os dados de base são os mesmos aplicados na Tabela 11. Com a diferença principal sendo o valor do investimento inicial considerado e o custo anual de operação do sistema fotovoltaico.

O subprograma de financiamento considerado nessa análise, foi o Pronaf Bioeconomia que dentre outros projetos, financia a utilização de tecnologias de energia renováveis no campo (Bndes, 2025).

No Pronaf Bioeconomia é ofertado o valor máximo de financiamento de R\$ 250 mil por ano agrícola, a uma taxa de juros prefixada de até 3% ao ano. Com um prazo máximo de financiamento de 10 anos, considerando cinco anos de carência e mais cinco anos de prazo para pagar o financiamento (Bndes, 2025).

Nesse contexto, no cenário 2 o valor solicitado para financiamento seria de R\$16.245,18 e considera os R\$ 12.645,18 orçamentário somado a R\$ 3.600,00 referente ao custo de manutenção do sistema fotovoltaico nos primeiros quatro anos, possibilitando com isso um prazo de seis anos para a quitação do financiamento. Resultando na Tabela 13.

Tabela 12 – Estimativa de economia no cenário 2.

Ano	Geração de energia (kWh/ano)	Projeção do Preço da Energia (R\$/kWh)	Economia (R\$/ano)	Custos (R\$/ano)	Fluxo de Caixa Simples (R\$/ano)	Fluxo de Caixa Acumulado (R\$/ano)
2025	INVESTIMENTO INICIAL			-R\$ 16.245,18	-R\$ 16.245,18	-R\$ 16.245,18
2026	3.476,93	0,938	R\$ 3.262,92	R\$ 0,00	R\$ 3.262,92	-R\$ 12.982,26
2027	3457,81	0,991	R\$ 3.426,70	R\$ 0,00	R\$ 3.426,70	-R\$ 9.555,56
2028	3438,79	1,046	R\$ 3.598,69	R\$ 0,00	R\$ 3.598,69	-R\$ 5.956,87
2029	3419,88	1,105	R\$ 3.779,32	R\$ 0,00	R\$ 3.779,32	-R\$ 2.177,55
2030	3401,07	1,167	R\$ 3.969,01	-R\$ 3.607,53	R\$ 361,48	-R\$ 1.816,07
2031	3382,36	1,232	R\$ 4.168,22	-R\$ 3.688,76	R\$ 479,46	-R\$ 1.336,61
2032	3363,76	1,301	R\$ 4.377,43	-R\$ 3.772,42	R\$ 605,01	-R\$ 731,60
2033	3345,26	1,374	R\$ 4.597,14	-R\$ 3.858,59	R\$ 738,55	R\$ 6,95
2034	3326,86	1,451	R\$ 4.827,88	-R\$ 3.947,35	R\$ 880,53	R\$ 887,49
2035	3308,56	1,532	R\$ 5.070,20	-R\$ 4.038,77	R\$ 1.031,43	R\$ 1.918,92
2036	3290,36	1,618	R\$ 5.324,69	-R\$ 900,00	R\$ 4.424,69	R\$ 6.343,61
*2037	3272,27	1,709	R\$ 5.591,94	-R\$ 3.787,28	R\$ 1.804,66	R\$ 8.148,28
2038	3254,27	1,805	R\$ 5.872,62	-R\$ 900,00	R\$ 4.972,62	R\$ 13.120,89
2039	3236,37	1,906	R\$ 6.167,37	-R\$ 900,00	R\$ 5.267,37	R\$ 18.388,26
2040	3218,57	2,012	R\$ 6.476,93	-R\$ 900,00	R\$ 5.576,93	R\$ 23.965,19
2041	3200,87	2,125	R\$ 6.802,02	-R\$ 900,00	R\$ 5.902,02	R\$ 29.867,21
2042	3183,26	2,244	R\$ 7.143,42	-R\$ 900,00	R\$ 6.243,42	R\$ 36.110,63
2043	3165,76	2,370	R\$ 7.501,97	-R\$ 900,00	R\$ 6.601,97	R\$ 42.712,60
2044	3148,34	2,502	R\$ 7.878,50	-R\$ 900,00	R\$ 6.978,50	R\$ 49.691,10
2045	3131,03	2,643	R\$ 8.273,94	-R\$ 3.787,28	R\$ 4.486,66	R\$ 54.177,76
2046	3113,81	2,791	R\$ 8.689,23	-R\$ 900,00	R\$ 7.789,23	R\$ 61.966,99
2047	3096,68	2,947	R\$ 9.125,36	-R\$ 900,00	R\$ 8.225,36	R\$ 70.192,35
2048	3079,65	3,112	R\$ 9.583,38	-R\$ 900,00	R\$ 8.683,38	R\$ 78.875,73
*2049	3062,71	3,286	R\$ 10.064,39	-R\$ 3.787,28	R\$ 6.277,11	R\$ 85.152,83
2050	3045,87	3,470	R\$ 10.569,54	-R\$ 900,00	R\$ 9.669,54	R\$ 94.822,37

\* Ano de troca do inversor de frequência.

Fonte: Autor.

A projeção do Cenário 2 também aponta um fluxo de caixa simples sempre positivo desde o primeiro ano de operação. Com a diferença que, no ano de 2030 esse fluxo apresentaria uma queda no valor em função do início do pagamento das parcelas do financiamento. Além disso é possível notar claramente que o fluxo de caixa acumulado permanece negativo por quase o dobro de anos do que é esperado no Cenário 1.

#### 4.4 INDICADORES DE VIABILIDADE

A avaliação de indicadores financeiros para um projeto, serve para auxiliar na análise de viabilidade deste investimento. De modo que, com os valores calculados é possível determinar se o investimento é atrativo financeiramente ou não (Santos, 2023).

Para esse estudo serão utilizados quatro indicadores. A taxa mínima de atratividade, o valor presente líquido, a taxa interna de retorno e o *payback*.

Taxa Mínima de Atratividade (TMA), é entendida como o custo de oportunidade do capital e consiste no valor mínimo que um investidor está disposto a aceitar como retorno financeiro de um investimento (Santos, 2023). A escolha dessa taxa é subjetiva e está diretamente relacionada ao perfil do investidor, ao tipo de investimento costuma realizar e aos riscos de perdas que ele considera aceitáveis (Cheauzu, 2022).

No Brasil, muitas pessoas utilizam, por exemplo, o rendimento (juros) da poupança como sua taxa mínima de atratividade, ou seja, ao fazerem investimentos as pessoas "comparam" a taxa de juros destes investimentos com a taxa de juros da poupança. Outras taxas mais elevadas também são utilizadas como referência, como o IPCA (inflação) ou o CDI (certificado de depósito interbancário). Assim, a TMA é uma "escolha pessoal", onde cada cliente pode ter em mente um valor de taxa de rendimento que considere como valor mínimo para investir (Cheauzu, 2022, p.1).

Valor Presente Líquido (VPL) também chamado de Valor Líquido Atual, estima o valor que um fluxo de caixa projetado no futuro representaria na atualidade. É o valor financeiro que se obtém quando são avaliadas uma série de fluxos de caixa estimados para o investimento.

De acordo com Cheauzu (2022), em um investimento, avalia-se o retorno financeiro que ele pode gerar ao longo do tempo. De modo que, durante esse período aplicado, o mesmo pode ir acumulando fluxos de caixa de valores positivos (receita) ou valores negativos (despesas). E o VPL indica a soma de todos esses valores positivos e negativos na data final do investimento.

Contudo, é importante destacar que, o valor presente líquido analisa esses valores sob a ótica econômica da data zero da aplicação do capital, ou seja, no ano que o investimento inicial é

feito. De modo que, é possível ter uma noção do retorno financeiro que o investimento pode gerar (Camargo, 2017).

Segundo Camargo (2017), a interpretação do VPL resultante é feita da seguinte maneira,

- a) **VPL Negativo:** despesas maiores que as receitas. O projeto é inviável;
- b) **VPL Positivo:** receitas maiores que as despesas. O projeto é viável;
- c) **VPL Zero:** receitas e despesas são iguais. A decisão de investir é neutra.

A taxa interna de retorno (TIR) é uma taxa de desconto que iguala o investimento inicial de um projeto a soma dos fluxos de caixa dele, ou seja, ela indica quando o VPL de um projeto ou investimento será igual a zero (Cheauzu, 2022; Santos, 2023).

“Apesar do nome, a TIR não indica o retorno que um investimento trará, e sim o desconto que precisaria ser aplicado sobre o fluxo de caixa projetado para que o projeto empatasse” (Warren, 2021, p.1). Dessa forma, a determinação sobre a viabilidade do investimento por meio da TIR, é dada pela comparação entre a taxa interna de retorno e a taxa mínima de atratividade.

- a) TIR maior que a TMA, significa que o investimento é atrativo financeiramente.
- b) TIR menor que a TMA, significa que o investimento não se justifica financeiramente.

De acordo com Cheauzu (2022), o *payback* é outro indicador financeiro para a análise de viabilidade de um projeto ou investimento, uma vez que, ele serve para estimar o tempo de operação que será necessário para que, a soma líquida dos fluxos de caixa acumulados resulte em um valor maior que o custo do investimento inicial.

O *payback* pode ser classificado como simples ou descontado, No *payback* simples o efeito do tempo sobre a valorização ou desvalorização do dinheiro não é considerada, enquanto no *payback* descontado, são estimados os possíveis efeitos do tempo sobre o valor investido (Santos, 2023).

A análise de viabilidade do projeto por meio do *payback*, observa se o tempo de retorno financeiro é menor que o tempo de aplicação do investimento. Se esse o retorno ocorre dentro desse período, então o projeto se mostra financeiramente viável (Santos, 2023).

#### 4.5 VIABILIDADE DO PROJETO

No Cenário 1 a taxa mínima de atratividade utilizada (TMA), levou em conta o perfil conservador da proprietária e, portanto, a escolha foi a taxa do Tesouro Prefixado 2035 com rentabilidade anual de 14,83%, com dados do dia 26 de junho de 2025. Um investimento de médio prazo, com taxa de juros fixa onde o investidor já conhece no momento do investimento exatamente o valor que receberá no vencimento do título (Tesouro Direto, 2025).

Utilizando o Software Excel aplicado aos dados da Tabela 11 obteve-se os demais indicadores financeiros, que são apresentados na Tabela 12.

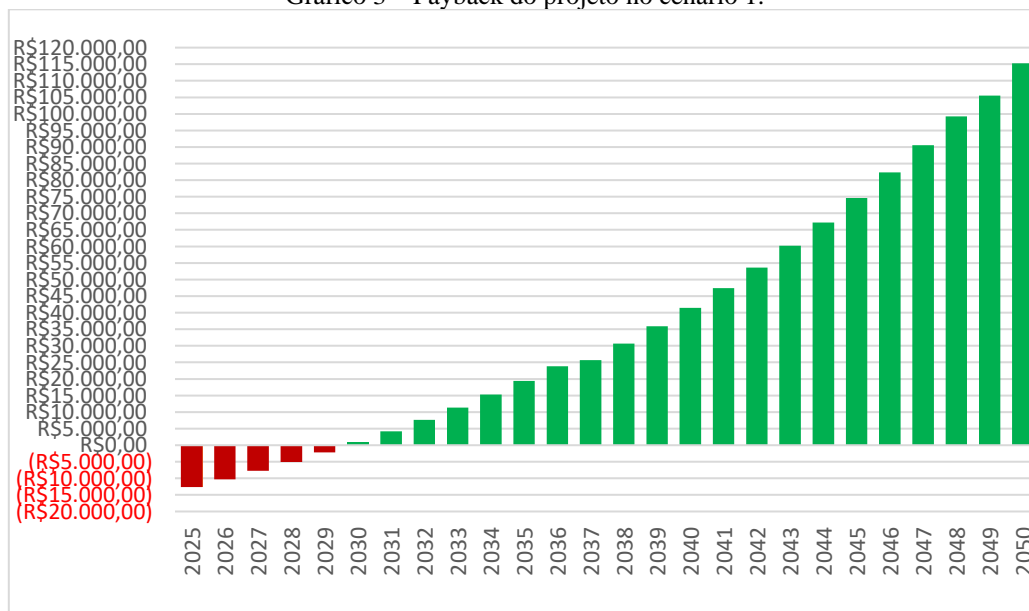
Tabela 13 – Indicadores de viabilidade no cenário 1.

<b>Indicadores</b>	<b>Resultados</b>
<b>TMA</b>	14,83%
<b>VPL</b>	R\$ 10.515,56
<b>TIR</b>	24%
<b>PAYBACK (Descontado)</b>	5 anos e 5 meses

Fonte: Autor

Portanto, o investimento no Cenário 1 aponta um valor presente líquido positivo de R\$ 10.515,56 no período de 25 anos. Uma taxa interna de retorno de 24% e um *payback* de 5 anos e 5 meses, Gráfico 3.

Gráfico 3 – Payback do projeto no cenário 1.



Fonte: autor.

Indicando que, o investimento se pagaria em aproximadamente um quinto do tempo de operação estimado para projeto, que é de 25 anos.

No Cenário 2 a taxa mínima de atratividade utilizada (TMA), considerado também foi a taxa do Tesouro Prefixado 2035 com rentabilidade anual de 14,83%.

Utilizando o Software Excel aplicado aos dados da Tabela 13 obteve-se os demais indicadores financeiros, que são apresentados na Tabela 14.

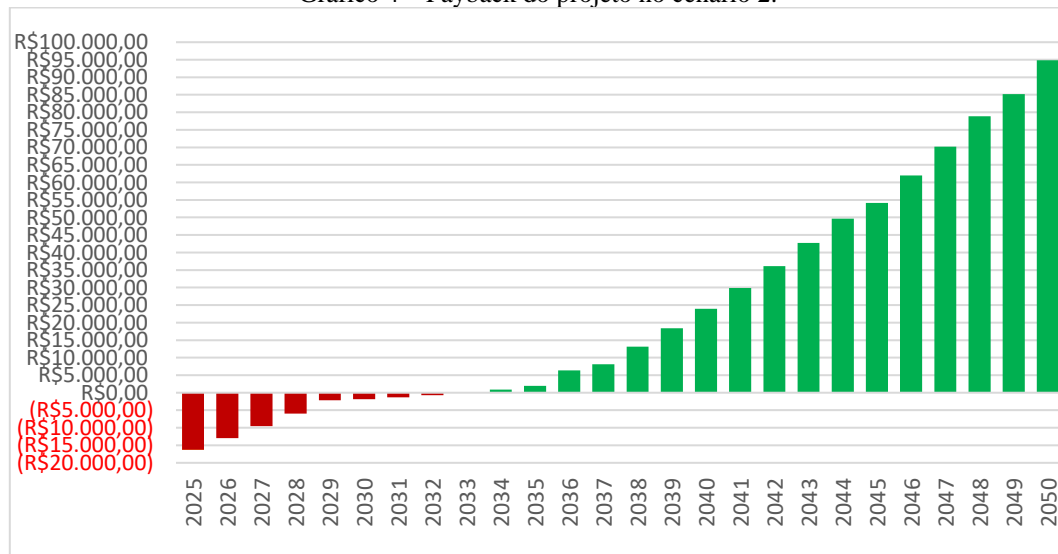
Tabela 14 – Indicadores de viabilidade no cenário 2.

Indicadores	Resultados
<b>TMA</b>	14,83%
<b>VPL</b>	R\$ 3.004,62
<b>TIR</b>	17%
<b>PAYBACK (Descontado)</b>	8 anos e 11 meses

Fonte: Autor

O investimento pelo cenário 2 aponta um valor presente líquido positivo de R\$ 3.004,62 no período de 25 anos. Uma taxa interna de retorno de 17% e um *payback* de 8 anos e 11 meses, Gráfico 2.

Gráfico 4 – Payback do projeto no cenário 2.



Fonte: autor.

É possível observar que tanto para o cenário 1 com o investimento inicial sendo feito com recursos da proprietária, quanto para o cenário 2 onde valor inicial é proveniente de um financiamento no PRONAF. Os índices financeiros avaliados se mostraram promissores, mesmo analisando apenas a economia com energia elétrica que o sistema garantiria e sem considerar os

ganhos financeiros que a lavoura de açaí produziria com o tempo, bem como o aumento produtivo que uma lavoura de açaí irrigada pode alcançar.

No cenário 1 o valor presente líquido calculado foi de R\$ 10.515,56 indicando um retorno positivo com a implantação do sistema fotovoltaico ao final do período de 25 anos. A taxa interna de retorno foi calculada no valor de 24%, sendo, portanto, superior a taxa mínima de atratividade usada como base que era 14,83%. E por último o *payback* estimado em 5 anos e 4 meses, o que significa que o projeto se pagaria em aproximadamente um quinto do período avaliado.

De forma, análoga ao primeiro caso, no cenário 2 o valor presente líquido calculado também é positivo e é no valor de R\$ 3.004,62 no período de 25 anos. A taxa interna de retorno de 17% também é superior a taxa mínima de atratividade de 14,83%. E o *payback* resultante seria de aproximadamente 8 anos e 11 meses.

Portanto, é possível concluir que, de acordo com os índices avaliados para o estudo de caso específico desse trabalho, o investimento nesse projeto fotovoltaico se mostra financeiramente viável para a proprietária. Sendo possível ser implementado de forma viável tanto com investimento direto, quanto por meio de financiamento estatal do programa nacional de fortalecimento da agricultura familiar.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

Nesse trabalho, buscou-se avaliar a viabilidade econômica, do uso de energia solar na irrigação de açaí em uma propriedade de agricultura familiar no Quilombo de Umarizal, município de Baião – PA. A fim de, apresentar uma visão geral do uso da tecnologia fotovoltaica como uma alternativa de modernização sustentável nas práticas agrícolas dessa comunidade quilombola.

Utilizando uma metodologia de pesquisa básica, com abordagem quantitativa e de caráter exploratório. Por meio de procedimentos técnicos classificados como bibliográfico, de campo e documental, realizou-se o dimensionamento de um sistema fotovoltaico isolado para a irrigação na propriedade e concluiu-se que o projeto é financeiramente viável do ponto de vista econômico.

O estudo analisou dois possíveis cenários. O cenário 1 com o investimento inicial de R\$12.645,18 sendo feito diretamente pela proprietária o que resultou um valor presente líquido positivo de R\$ 10.515,56. Uma taxa interna de retorno de 24%, maior que a taxa mínima de atratividade de 14,83% e um *payback* de aproximadamente 5 anos e 5 meses. E o cenário 2 onde o investimento inicial de R\$ 16,245,18 abrangeria os custos de operação do sistema nos primeiros quatro anos de operação do sistema e seria pago por meio de um financiamento no Pronaf Bioeconomia, a juros de 3% ao ano em um período de 6 anos. O que resultou em um VPL de R\$ 3.004,62. Uma TIR de 17% também maior que a TMA de 14,83% e um *payback* de aproximadamente 8 anos e 11 meses.

Todos os objetivos propostos foram alcançados, uma vez que, além de caracterizadas as práticas de uso e ocupação do solo na agricultura do Quilombo estudado, foi realizada uma revisão bibliográfica das atuais tecnologias empregadas nos componentes fotovoltaicos, dimensionou-se por meio de cálculos um sistema fotovoltaico isolado para aplicação na irrigação agrícola e avaliou-se a sua viabilidade por meio de índices financeiros.

Como sugestão para futuros trabalhos, recomenda-se: Um estudo de caso considerando o uso de um sistema de bombeamento acionado por motobombas (CC), o que poderia baratear o custo de instalação. Uma análise de viabilidade de automação no acionamento desse sistema de irrigação, o que garantiria maior eficiência operacional. E ainda avaliar a possibilidade de implementação de um sistema fotovoltaico conectado à rede, comparando as vantagens acarretadas por essa configuração com as dificuldades geográficas para a instalação no local.

## 6 REFERENCIAS

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. Energia elétrica solar na agricultura familiar. © 2016. Disponível em:< <https://www.absolar.org.br/noticia/energia-eletrica-solar-na-agricultura-familiar/>>. Acesso em: 15 de maio de 2024.

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. Panorama da solar fotovoltaica no Brasil e no Mundo. ©2025. Disponível em:< <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2025.

AGUIAR, Amália G. R. Manejo de população de açaizeiro (*Euterpe oleracea Mart.*) em parcelas de produção de frutos em áreas de várzea. 95 f. : il 29 cm. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Amazônia Oriental Núcleo de Ciências Agrárias e Desenvolvimento Rural. Programa de Pós-Graduação em Agricultura Amazônicas. Belém-PA, 2016.

ALVES, Mayk. Agricultura: Coivara é técnica que divide opiniões no mundo da agricultura. Agro2.0. 03/02/2021. Disponível em:<<https://www.agro20.com.br/coivara/>>. Acesso em: 29 de fevereiro de 2024.

ANDRADE, Maurício Guy de. Efeito de um sistema de bombeamento de água fotovoltaico na operação de um microaspersor. / Maurício Guy de Andrade - Cascavel, PR: UNIOESTE, 2013. 97 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Energia na Agricultura, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Cascavel - PR. 2013.

ARAMIZU, Juliana. Modelagem e Análise de desempenho de um sistema fotovoltaico em operação isolada e em paralelo com uma rede de distribuição de energia elétrica / Juliana Aramizu. – São Carlos, SP. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistema de Energia e Automação) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia Elétrica. São Carlos - SP. 2010.

ATLAS brasileiro de energia solar / Enio Bueno Pereira; Fernando Ramos Martins; André Rodrigues Gonçalves; Rodrigo Santos Costa; Francisco J. Lopes de Lima; Ricardo Rüter; Samuel Luna de Abreu; Gerson Máximo Tiepolo; Silvia Vitorino Pereira; Jefferson Gonçalves de Souza 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p.: il. (EBOOK). ISBN 9788517000898. DOI:<http://doi.org/10.34024/978851700089>

AZEVEDO, Gabriel. Agricultura familiar do Brasil: qual é o tamanho? Canal Rural. Julho de 2023. Disponível em:<<https://www.canalrural.com.br/agricultura/agricultura-familiar-do-brasil-qual-e-o-tamanho/>>. Acesso em: 13 de abril de 2024.

BAIA, Paula de M. Titulação de territórios quilombolas no Baixo Tocantins: uma análise processual na demarcação e titulação do território quilombola de Umarizal, Baião/PA. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Campus Universitário de Marabá, Instituto de Estudos em Direito e Sociedade, Faculdade de Direito, Curso de Bacharelado em Direito, Marabá, 2021.

BERTO, Alessandra. Módulos fotovoltaicos – Comparando os dados técnicos dos módulos solares de 36, 60 e 72 células. Solar Brasil, 27 de nov. de 2017. Disponível em:<

BNDES, O banco nacional do desenvolvimento. Pronaf Bioeconomia. © 2024. Disponível em:< [https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/pronaf-bioeconomia!/ut/p/z0/fY7LDoJADEW\\_xQVLUKCjbAkLiJEoMSY4G1JggCp0EAYff-\\_o2ri7bU9OLwjIQDDeqUFNirEz81ms800ahXGwcnfRzvWc9OQf0qMfL\\_fhCrYg\\_gPG4I1JmDQgBtStTVwryIbR6Gu7ICVLxaon\\_IB0ud1EAMKstHxqyAqu5JQTT5r0XH4rWU6remk5NTFySdhL1mqynI64xck24mbE3qR65upz-PFquIri9QgWb03dhno!/>. Acesso em: 15 de janeiro de 2025.](https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/pronaf-bioeconomia!/ut/p/z0/fY7LDoJADEW_xQVLUKCjbAkLiJEoMSY4G1JggCp0EAYff-_o2ri7bU9OLwjIQDDeqUFNirEz81ms800ahXGwcnfRzvWc9OQf0qMfL_fhCrYg_gPG4I1JmDQgBtStTVwryIbR6Gu7ICVLxaon_IB0ud1EAMKstHxqyAqu5JQTT5r0XH4rWU6remk5NTFySdhL1mqynI64xck24mbE3qR65upz-PFquIri9QgWb03dhno!/)

BRASIL. Lei Nº 11.326, de 24 de julho de 2006. Estabelece as diretrizes para a formulação da política nacional da agricultura familiar e empreendimentos familiares rurais. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 de setembro de 2006. Disponível em:<[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2004-2006/2006/lei/111326.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2004-2006/2006/lei/111326.htm)>. Acesso em: 21 de fevereiro de 2024.

BRITO, Stephanie V.; TRECCANI, Girolamo D. Unidade de conservação na Amazônia e territorialidades específicas: O caso da reserva extrativista de Ipaú-Anilzinho. Revista de Direito e Sustentabilidade. v.5. n.º2. p. 95 - 113. Belém, 2019.

BRUNING, Jhosefe. Energia fotovoltaica: Análise técnica e econômica de sistema autônomo para irrigação. 2022. 100 p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola. Santa Maria – RS, 2022.

CAMARGO, Renata Freitas de. Veja como o valor presente líquido (VPL) ajuda na análise de viabilidade de um investimento. Treasy, ©2017. Disponível em:<<https://www.treasy.com.br/blog/valor-presente-liquido-vpl/>>. Acesso em: 01 de abril de 2024.

CAMPOS, Huesdra Nogueira de. Desenvolvimento de roteiros didáticos para laboratórios de energia solar do IFG Campus Goiânia e da EMC/UFG. 170 f: il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Elétrica). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. Goiânia, 2023.

CHEAUZU, Huang. O que são TMA, VPL, TIR e Payback?. Solar market, ©2022. Disponível em:<<https://solarmarket.zendesk.com/hc/pt-br/articles/6745147452187-O-que-s%C3%A3o-TMA-VPL-TIR-e-Payback>>. Acesso em: 01 de abril de 2024.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de S. Brito. Potencial Solar -SunData v 3.0. 2018. Disponível em:<<https://cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>>. Acesso em: 04 de março de 2024.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Código Florestal: Adequação ambiental da paisagem rural – Módulos Fiscais. Portal Embrapa (Versão 3.147.0), © 2024. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/codigo-florestal/area-de-reserva-legal-arl/modulo-fiscal>>. Acesso em: 21 de fevereiro de 2024.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Temas: Agricultura Familiar. Portal Embrapa (Versão 3.147.0), ©2024. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tema-agricultura-familiar/sobre-o-tema>>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2024.

ENERGIA Total – Energia solar. Inversor solar drive bomba 2cv 220v – Weg 14038725. © 2024. Disponível em:< [https://www.energiatotal.com.br/inversor-drive-bomba-solar-weg-2cv?parceiro=6982&gad\\_source=1&gclid=CjwKCAjw17qvBhBrEiwA1rU9w4NpbuN86h5cr6HSN5LtEnNQUNiLVwRaqQckqIKiuGIKWjMuXfJ3RoCv6EQAvD\\_BwE](https://www.energiatotal.com.br/inversor-drive-bomba-solar-weg-2cv?parceiro=6982&gad_source=1&gclid=CjwKCAjw17qvBhBrEiwA1rU9w4NpbuN86h5cr6HSN5LtEnNQUNiLVwRaqQckqIKiuGIKWjMuXfJ3RoCv6EQAvD_BwE)>. Acesso em: 07 de março de 2024.

EQUATORIAL Energia. Valor de tarifas e serviços. Resolução homologatória nº3.371, Despacho ANEEL nº 2335/2024. 07/08/2024. Disponível em:<<https://pa.equatorialenergia.com.br/informacoes-gerais/valor-de-tarifas-e-servicos/#demais-classes>>. Acesso em: 07 de março de 2025.

EXAME. Conta de luz deve ficar 5,6% mais cara em 2024, projeta a Aneel. Exame Brasil, janeiro de 2024. Disponível em: <<https://exame.com/brasil/conta-de-luz-deve-ficar-56-mais-cara-em-2024-projeta-a-aneel/>>. Acesso em: 11 de abril de 2024.

FAPESPA – Fundação Amazônica de Amparo a Estudos e Pesquisa. Radar de indicadores das regiões de integração do Pará 2022. Disponível em: <<https://fapespa.pa.gov.br/sistemas/radar2022/portfolio.html>>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2024.

FARIAS, Nilton Lopes de. As políticas públicas especiais de acesso de quilombolas às universidades: o caso da Comunidade Remanescente de Quilombo de Umarizal – Baião – Pará / Nilton Lopes da Farias. Belém: FLACSO/FPA, 2021. f.: 137. Dissertação (Magíster en Estado, Gobierno y Políticas Públicas), Faculdade Latino-Americana de Ciências Sociais, Fundação Perseu Abramo, Maestría Estado, Gobierno y Políticas Públicas. Belém-PA, 2021.

FÉLIX, Thiago. Conta de luz deve aumentar até R\$25 por mês, diz levantamento exclusivo. CNN Brasil, janeiro de 2024. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/economia/macroeconomia/conta-de-luz-deve-aumentar-ate-r-25-por-mes-diz-levantamento-exclusivo/>>. Acesso em: 11 de abril de 2024.

FERNANDES, Luciana Mendes. Territorialidade, história, condições de vida e saúde em comunidades quilombolas amazônicas: o caso de Umarizal Beira, Baião, Pará / Luciana Mendes Fernandes. -- 2022. 357 f. : il. color. Tese (Doutorado em Saúde Pública), Rio de Janeiro, 2022.

FRANKLIN Eletric. Tabela de seleção de bombas e motobombas. Schneider Motobombas. 2024. Disponível em: <[https://schneidermotobombas.blob.core.windows.net/media/321009/schneider\\_tabela\\_selecao\\_2023-05\\_web.pdf](https://schneidermotobombas.blob.core.windows.net/media/321009/schneider_tabela_selecao_2023-05_web.pdf)>. Acesso em: 10 de janeiro de 2024.

FURTADO, Josianny Patrícia Sanches. Dimensionamento e otimização de um sistema de bombeamento fotovoltaico para irrigação: Ilha de Santiago, Santa Cruz. Dissertação de Mestrado (Mestre em Energia Renovável e Eficiência Energética) – Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e Gestão. Portugal. 2020.

GIL, Antonio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social / Antonio Carlos Gil. - 6. ed. - São Paulo: Atlas, 2008.

GOOGLE Earth Pro. Versões do google Earth. ©2024. Disponível em: <<https://www.google.com/intl/pt-BR/earth/about/versions/>>. Acesso em: 19 de fevereiro de 2024.

GUZMÁN, Aldo B.; VICENCIO, Rodrigo B.; ARDILA-REY, Jorge; AHUMADA, Eduardo N.; ARAYA, Arturo G.; MORENO, Geraldo A. A cost-effective methodology for sizing solar pv systems for existing irrigation facilities in Chile. *Energies*, v. 11, n. 7, p. 1853, 2018. <https://doi.org/10.3390/en11071853>.

HISATOMI, Carolina. Semicondutores: o que são e como funcionam. eCycle®: Sua pegada mais leve. © 2023. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/semicondutores/>>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2024.

HOMMA, Alfredo K.; CARVALHO, José, E. U. de.; MENEZES, Antônio J. E. A. de. et al. Custo Operacional de Açaçzeiro Irrigado com Microaspersão no Município de Tomé-Açu. Embrapa – Comunicado Técnico 219, ISSN 1983-0505. Junho, 2019. Belém-PA.

IBERDROLA. Células fotovoltaicas: Conheça sua evolução, seus diferentes tipo e as últimas inovações. Iberdrola, S.A. © 2024. Disponível em: <<https://www.iberdrola.com/inovacao/celulas-fotovoltaicas-fotoeletricas>>. Acesso em: 17 de fevereiro de 2024.

LAFEA – Laboratório de Física Experimental e Aplicada. Construção e caracterização de células solares. Centro Federal de Educação Tecnologia Celso Suckow da Fonseca – CEFET-EJ. Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação – DIPPG. Programa de Pós-graduação em Instrumentação

Óptica Aplicada – PPGIO. Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica – PPEEL. © 2024. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/lablafea/linhas-de-pesquisa/constru%C3%A7%C3%A3o-e-caracteriza%C3%A7%C3%A3o-de-c%C3%A9lulas-solares>>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2024.

LEITE, Marcelo. Pará é o 4º estado em número de quilombolas no Brasil, afirma o IBGE. Agência Pará, 27/07/2023. Disponível em: <<https://agenciapara.com.br/noticia/45809/para-e-o-4-estado-em-numero-de-quilombolas-no-brasil-afirma-o-ibge>>. Acesso em: 27 de fevereiro de 2024.

LIMA, Andreilton C. dos S.; SANTOS, Gilberto A. D. dos. Sistema de irrigação para agricultura familiar utilizando a geração solar fotovoltaico em Santa Catarina. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Elétrica). Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL). Palhoça – SC, 2022.

MARIANO, Juliana D'Angela; JUNIOR, Jair Urbanetz. Energia solar fotovoltaica: princípios fundamentais / Juliana D'Angela Mariano, Jair Urbanetz Junior. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022. ISBN 978-65-258-0075-2. DOI:<https://doi.org/10.22533/at.ed.752221803>

MDA, Ministério do desenvolvimento agrário e agricultura familiar. Plano safra da agricultura familiar 2024/2025 movimentará R\$ 29,5 bilhões nos primeiros quatro meses. © 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/mda/pt-br/noticias/2024/10/plano-safra-da-agricultura-familiar-2024-2025-movimentara-r-29-5-bilhoes-nos-primeiros-quatros-meses#:~:text=Uma%20das%20principais%20pol%C3%ADticas%20do,os%20agricultores%20e%20agricultoras%20familiares.>>. Acesso em: 13 de janeiro de 2025

MORAES, Caio. Célula Fotovoltaica: Tudo que você precisa saber. Eletrônica de Potência, 5 de maio de 2020. Disponível em: <<https://eletronicadepotencia.com/celula-fotovoltaica/>>. Acesso em: 03 de maio de 2024.

MORAES, José A. G. de. Dimensionamento e análise estimada da geração de energia elétrica residencial/monofásica através de sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR) de baixa tensão. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Pará – Campus Tucuruí, Faculdade de Engenharia Elétrica. Tucuruí -PA, 2022.

MORATO, Caio. Kit de energia solar: Qual a vida útil dos equipamentos?. SolarVolt Energia, © 2024. Disponível em: <<https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/kit-de-energia-solar-vida-util/>>. Acesso em: 12 de abril de 2024.

MOURA. Sistema fotovoltaico : o que é, como funciona e onde usar?. 2024. Disponível em: <<https://www.moura.com.br/blog/sistema-fotovoltaico>>. Acesso em: 21 de junho de 2024.

Neo Solar. Sistema de energia solar fotovoltaico e seus componentes. © 2024. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>>. Acesso em: 21 de junho de 2024.

NETO, Nikolly. Plano safra: o que é e como funciona [guia completo]. Siagri ERP. © 2024. Disponível em: <<https://www.siagri.com.br/plano-safra/#:~:text=O%20que%20%C3%A9%20Plano%20Safra,Assist%C3%Aancia%20T%C3%A9cnica%20e%20Extens%C3%A3o%20Rural>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2025.

OLIVEIRA, Kamila Diniz. A espacialidade do modo de vida - Análise morfológica de comunidades rurais e tradicionais na região do Baixo Tocantins (PA). Novos Cadernos NAEA. v. 24, n. 3, p. 169 -192. 2021.

OLIVEIRA, Luiz Henrique de. Dimensionamento de um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede de energia elétrica. Monografia (Bacharel em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia-MG, 2018.

PENNING, Jardel A.; TIMM, Andréa U.; FINKLER, Raquel. Energia solar: estudo de caso de uma residência na cidade de Caxias do Sul/RS. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v. 2, n. 2, p. 732-744, 2019.

PEREIRA, Felipe A. de S.; OLIVEIRA, Manuel A. S. de. Curso Técnico Instalador de Energia Solar Fotovoltaica. - 2. ed. Publindústria, Produção de Comunicação, Lda. janeiro, 2015.

PEREIRA, Helisa Moreira P.; MENDES, Luiz Fernando R. Análise de rendimento do sistema de bombeamento de água por energia solar fotovoltaica para irrigação de um viveiro de mudas. *Revista Vértices*, v. 21, n. 3, p. 463-494, 2019.

PINHO, João T.; GALDINO, Marcos A. Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos de 2014 / Centro de Referências para as Energias Solar e Eólica Sergio de Salvo Brito. – 2. ed. Rio de Janeiro: CRESESB, 2014.

PIRES, Thalita. Plano Safra da Agricultura Familiar tem recorde de investimentos; entenda detalhes. *Brasil de Fatos | Rio de Janeiro – RJ. Agosto de 2023.* Disponível em:<

PRODANOV, Cleber Cristiano. Metodologia do trabalho científico [recurso eletrônico]: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico / Cleber Cristiano Prodanov, Ernani Cesar de Freitas. – 2. ed. – Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RAMOS, Eduarda da Silva. Agricultura familiar no contexto municipal de Baião: Tendências e perspectivas. Artigo científico (Grau de Licenciatura em Geografia) – Universidade Federal do Pará, Campus de Ananindeua, Faculdade de Geografia. Ananindeua - PA, 2022.

REGO JUNIOR, Luciano Freitas do. Sistema de bombeamento fotovoltaico em propriedade rural – um estudo de caso / Luciano Freitas do Rego Junior. – Pombal, PB. 2023. 63 f. il. color. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar. Pombal - PB. 2023.

ROSA, Rodrigo S. Sistema fotovoltaico conectado à rede – SFCR / ON-GRID. *CSR Energia Solar*. 07 de ago. de 2017. Disponível em:<

SANTOS, Elenildo C. S. dos. Modelagem e controle de sistema fotovoltaico para rastreamento do ponto de máxima potência. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Tucuruí – CAMTUC, Faculdade de Engenharia Elétrica. Tucuruí - PA, 2023.

SANTOS, Igna Lylyane Costa dos. Viabilidade econômico-financeira da implantação de energia solar em uma propriedade rural: Uma análise voltada para agricultura familiar no município de Currais Novos/RN. 21 f.: il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Administração). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Currais Novos - RN, 2023.

SILVA, Luiz S. G. da.; LOPES, Márcio P. C. Análise geoespacial da comunidade quilombola de Umarizal / Luiz Sérgio Gomes da Silva, Márcio Pereira Correa Lopes. — 2022. 45 f.: il. color. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Geoprocessamento). Faculdade de Tecnologia em Geoprocessamento, Universidade Federal do Pará – Campus Ananindeua. Ananindeua-PA, 2022.

SOUSA, Joatan Soares de. Saberes Tradicionais dos Remanescentes de Quilombolas da Comunidade de Umarizal (Baião/PA). Dissertação de Mestrado (Mestre em Educação e Cultura).

Programa de Pós-graduação em Educação e Cultura da Universidade Federal do Pará, Campus Universitário do Tocantins/Cametá. Cametá-PA, 2018.

SOUZA, Anielli R. *et al.* Paisagens e uso da terra em núcleos populacionais e estabelecimentos rurais da Região do Baixo Tocantins – Pará. Relatório Técnico de Atividade de Campo de 2018 e 2019 – Cursos de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto e em Ciências do Sistema Terrestre do INPE, em parceria com Universidade Federal do Pará - CNPq/UFPA. São José dos Campos - SP, 2021.

SUNOVA Solar. Ficha técnica painel solar monocristalino SS-405-54MDH. ©2024. Disponível em:<<https://minhacasasolar.fbtsstatic.net/media/1ficha-tecnica-painel-solar-410w-monocristalino-ss1054mdh.pdf>>. Acesso em: 07 de março de 2024.

SWART, Jacobus W. Semicondutores: Fundamentos, técnicas e aplicações / Jacobus Willibrordus Swart. – Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2008.

TESOURO Direto. Confira a rentabilidade de cada título. © 2025. Disponível em:<<https://www.tesourodireto.com.br/titulos/precos-e-taxas.htm>>. Acesso em: 07 de março de 2025.

VALER, Roberto. A utilização de sistemas fotovoltaicos de bombeamento para irrigação em pequenas propriedades rurais. 2016. DOI 10.13140/RG.2.1.2688.0409

VIEIRA, Abadio H.; RAMALHO, André R.; NETO, Calixto R.; et al. Cultivo do Açaizeiro (*Euterpe oleracea* Martius) no Noroeste do Brasil. Embrapa Rondônia – Sistemas de Produção 36, ISSN 0103-1668. Dezembro, 2018. Porto Velho-RO.

VILLALVA, Marcelo G.; GAZOLI, Jonas R. Energia solar fotovoltaica: Conceitos e aplicações. - 2. ed. – São Paulo: Érica, 2012.

VILLALVA, Marcelo. Entendendo as curva IV e PV dos módulos fotovoltaicos. Canal Solar. © 2019. Disponível em:< <https://canalsolar.com.br/entendendo-as-curvas-iv-e-pv-dos-modulos-fotovoltaicos/#:~:text=Curva%20IV%20%C3%A9%20o%20gr%C3%A1fico,que%20o%20m%C3%B3dulo%20pode%20fornecer> >. Acesso em: 20 de fevereiro de 2025.

WARREN Magazine, Taxa interna de retorno (TIR): o que é, porque importa e com calcular. 26 de agosto de 2021. Disponível em:< <https://warren.com.br/magazine/taxa-interna-de-retorno-tir/>>. Acesso em: 01 de abril de 2024.

Weather Spark. Clima e condições meteorológicas médias em Baião no ano todo – Brasil. Cedar Lake Ventures, Inc. ©2024. Disponível em:< <https://pt.weatherspark.com/y/30004/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Bai%C3%A3o-Brasil-durante-o-ano#:~:text=Ao%20longo%20do%20ano%2C%20em,superior%20a%2038%20%C2%B0C.>>. Acesso em:07 de março de 2024.

WEG Automação. Guia de aplicação – Solar pump drive CFW500. 2020. Disponível em:< <https://download.aldocom.br/pdfprodutos/Produto71490IdArquivo26170.pdf> >. Acesso em: 24 de março de 2024.

WEG Solar – Equações para o dimensionamento dos módulos fotovoltaicos. WEG S.A. 22 de dezembro de 2020. Disponível em:< <https://www.youtube.com/watch?v=Q0pzMemxaU&list=PLrB8N7V81CnnyvmZu2irKmBB0TQR1t6hO&index=3>>. Acesso em: 07 de março de 2024.

WEG Solar – Noções básicas de dimensionamento da motobomba com sistema solar drive. WEG S.A. 07 de dezembro de 2020. Disponível em:< <https://www.youtube.com/watch?v=E4N34wFrsc&list=PLrB8N7V81CnnyvmZu2irKmBB0TQR1t6hO&index=3>>. Acesso em: 08 de janeiro de 2024.

ANEXO 1



**ERA-RC-66HC**  
N-Type Mono-crystalline

**KEY FEATURES**

- MBB Half-Cut Solar Cell:** 132 cells (8x1x2)
- Higher Module Conversion Efficiency:** Higher module output up to 620W with module efficiency up to 23%
- Low-light Performance:** Advanced glass and surface texturing allow for excellent performance in low light environments.
- Light-weight design:** Light-weight design using transparent backsheet for easy installation and low BOS cost.
- Higher Power Output:** Module power increases 5-25% generally, bringing significantly lower LCOE and higher IRR.

**TOPCon**

**WARRANTY**

- 15 YEARS PRODUCT WARRANTY
- 30 YEARS LINEAR POWER WARRANTY

1071 | Zhejiang ERA Solar Technology Co., Ltd. | ERA SOLAR

**182mm, 66-CELL HALF-CUT SERIES**

**ELECTRICAL PERFORMANCE**

Module type: ERA-RC 66HC	600M	605M	610M	615M	620M
Maximum Power (Wp)	600W	605W	610W	615W	620W
Open circuit Voltage (Voc)	47.70V	47.50V	48.10V	48.30V	48.50V
Short circuit Current (Isc)	15.95A	16.00A	16.05A	16.10A	16.15A
Maximum Power Voltage (Vmp)	39.44V	39.60V	39.77V	39.96V	40.10V
Maximum Power Current (Imp)	15.21A	15.28A	15.34A	15.39A	15.46A
Module efficiency	22.20%	22.42%	22.67%	22.80%	23.00%
Maximum Series Fuse	25A				
Voltage positive tolerance	0~+3%				
Number of Diode	3				
Standard Test Conditions	1000W/m <sup>2</sup> , 25°C, AM1.5				
Maximum System Voltage	1500VDC				
Temperature Coefficient Isc	+0.04%/°C				
Temperature Coefficient Voc	-0.24%/°C				
Temperature Coefficient Pmp	-0.30%/°C				
Operating Temperature	-40°C~+85°C				
Normal Operating Cell Temperature	45±2°C				
Load Capacity for the cover of the module (glass)	5400Pa (IEC61215)(snow)				
Load Capacity for the front & back of the module	2400Pa (IEC61215)(wind)				

**ELECTRICAL PERFORMANCE (NOCT)**

Module type: ERA-RC 66HC	600M	605M	610M	615M	620M
Maximum Power (Wp)	463.02W	457.38W	461.16W	464.94W	468.72W
Open circuit Voltage (Voc)	44.84V	45.03V	45.21V	45.40V	45.58V
Short circuit Current (Isc)	12.88A	12.77A	12.76A	12.80A	12.84A
Maximum Power Voltage (Vmp)	37.27V	37.47V	37.58V	37.78V	37.94V
Maximum Power Current (Imp)	12.11A	12.22A	12.21A	12.31A	12.36A

**MECHANICAL CHARACTERISTICS**

Front cover (material / thickness)	low-iron tempered glass / 3.2mm
Backsheet (color)	TPT in white
Cell quantity / material / dimensions	132(8x1x2) / monocrystalline silicon
Frame (material / color)	aluminum hollow-chamber frame on each side anodized aluminum alloy / silver
Junction box (protection degree)	≥IP68
Cables & Plug connectors	4mm <sup>2</sup> , 300mm in length, length can be customized
Module Dimensions (L/W/H)	2384x1134x30±0.5mm
Module Weight	28.2kg / 28.8kg
Application class	Class A
Electrical protection class	Class II
Fire safety class	Class C

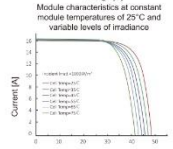
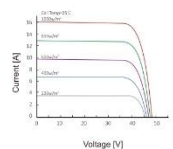
**PACKING**

Container Size	Units/Pallet (PCS)	Weight/Pallet (KG)	Pallet Measurement (mm)	Units/Container (PCS)
40HQ	36 (35mm)	1213	1140x1120x2540	720
	31 (35mm)	1054	1140x1120x2540	620



ERA SOLAR and the ERA SOLAR logo are trademarks or registered trademarks of ERA SOLAR Corporation. © October 2024 ERA SOLAR Corporation. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

**CURRENT-VOLTAGE CURVES:**



**MODULE DIAGRAM:**

