



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

ÁLVARO SILVA DE ARAÚJO

**PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROJETO FOTOVOLTAICO
OFF-GRID PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA DA CIDADE DE ÁGUA NOVA-RN**

PAU DOS FERROS/RN

2023

ÁLVARO SILVA DE ARAÚJO

**PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROJETO FOTOVOLTAICO
OFF-GRID PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA DA CIDADE DE ÁGUA NOVA-RN**

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Pau dos Ferros/RN como requisito parcial para à obtenção do grau de Bacharel em Ciência e Tecnologia

Orientador: Prof. Dr. Paulo Henrique das Chagas Silva

PAU DOS FERROS/RN

2023

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

AA663 Araújo, Álvaro Silva de.
p Proposta de implementação de um projeto
fotovoltaico off-grid para iluminação pública da
cidade de Água Nova-RN / Álvaro Silva de Araújo.
- 2023.
78 f. : il.

Orientador: Paulo Henrique das Chagas Silva .
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2023.

1. Sistema fotovoltaico off-grid. 2. SFI. 3.
Viabilidade econômica. 4. Iluminação pública. 5.
Eficiência. I. Silva , Paulo Henrique das Chagas,
orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 15/966

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ÁLVARO SILVA DE ARAÚJO

**PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROJETO FOTOVOLTAICO
OFF-GRID PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA DA CIDADE DE ÁGUA NOVA-RN**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Interdisciplinar em
Ciência e Tecnologia, da UNIVERSIDADE
FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO, como
requisito parcial para a obtenção do grau de
Bacharel em Interdisciplinar em Ciência e
Tecnologia.

Pau dos Ferros-RN, 14 de outubro de 2023.

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
PAULO HENRIQUE DAS CHAGAS SILVA
Data: 18/10/2023 16:55:50-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Paulo Henrique das Chagas Silva (Orientador)

Universidade Federal Rural do Semi-Árido



Documento assinado digitalmente
FRANCISCO CARLOS GURGEL DA SILVA SEGUNDO
Data: 18/10/2023 15:44:05-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo

Universidade Federal Rural do Semi-Árido



Documento assinado digitalmente
JOSE WAGNER CAVALCANTI SILVA
Data: 14/10/2023 10:23:36-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. José Wagner Cavalcanti Silva

Universidade Federal de Campina Grande

Aos meus pais e familiares!

AGRADECIMENTOS

Queria aqui agradecer em primeiro lugar a Deus por esta sempre do meu lado, abençoando minha caminhada, dando toda proteção, sabedoria e força pra vencer na vida.

Agradeço a todos meus familiares quem me influenciaram de forma direto ou indiretamente. Mas de forma especial agradecer minha mãe, Maria Vaneilsa Silva de Araújo, meu pai Francisco Edimar de Araújo, minhas irmã Ana Karolyne e Ana Kamyli, que sempre lutaram e procuram dar o melhor para a sua família, apoiando nos melhores e piores momento da vida, insistindo em nunca desistir dos meus objetivos, dando todo cuidado, amor e carinho que um filho pode ter, para que pudesse chegar até aqui e dando pra eles tão sonhada formatura.

Agradeço a todos os professores da universidade em especial a José Wagner Cavalcanti Silva e Paulo Henrique das Chagas Silva, pela generosa acolhida por ter aceitado ser meus orientadores, pelos ensinamentos, por todo empenho e dedicações na elaboração desse trabalho, e ao professor Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo por ter aceito participar da banca avaliadora trazendo valiosas contribuições na elaboração deste trabalho de conclusão de curso.

Por fim quero agradecer aos meus amigos João Lucas Batista de Queiroz, Francisco Luan Barbosa e Lara Beatriz Pereira de Lima, por ter convivido e compartilhado momentos históricos em todo esse tempo de UFRSA, desejo todo o sucesso em suas trajetórias e poderão sempre conta comigo, e todas as pessoas que conheci durante essa minha graduação, que me ajudaram de algum modo, saibam que minha gratidão será eterna por todos vocês.

“Ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua produção ou a sua construção. Quem ensina aprende a ensinar e quem aprende ensina a aprender”
(Paulo Freire)

RESUMO

O estudo realizado neste trabalho teve como objetivo explorar uma das principais fontes de energia renovável em nossa matriz energética, a energia solar fotovoltaica. Esse sistema converte a luz solar em energia elétrica por meio de módulos fotovoltaicos e pode ser aplicado em sistemas isolados off-grid, que não estão conectados à rede elétrica convencional. Diante dessa inovação, o objetivo principal foi analisar a viabilidade econômico-financeira da implantação de um sistema fotovoltaico autônomo off-grid na iluminação pública da cidade de Água Nova-RN. Foram considerados os principais componentes do sistema, incluindo módulos fotovoltaicos, controlador de carga e sistema de armazenamento de energia (bateria). Com a implementação desse sistema, a iluminação pública tornou-se totalmente independente de outras fontes de energia, contribuindo para a sustentabilidade da cidade. Após análises detalhadas, foi confirmada a viabilidade do sistema fotovoltaico off-grid para ser instalado em 334 postes de iluminação pública ao longo de 10 anos. O custo inicial do projeto foi de R\$564.452,00, com um período de retorno de oito anos e cinco meses. Ao final dos 10 anos, o projeto geraria um lucro de R\$68.995,72, demonstrando a eficácia do payback em relação ao investimento inicial. Destacando o sistema fotovoltaico off-grid como uma solução sustentável para a iluminação pública da cidade de Água Nova-RN.

Palavras-chave: Sistema fotovoltaico off-grid. SFI. Viabilidade econômica. Iluminação pública. Eficiência.

ABSTRACT

The study conducted in this work aimed to explore one of the main sources of renewable energy in our energy matrix, photovoltaic solar energy. This system converts sunlight into electrical energy through photovoltaic modules and can be applied in off-grid isolated systems that are not connected to the conventional electrical grid. Given this innovation, the main objective was to analyze the economic and financial feasibility of implementing an autonomous off-grid photovoltaic system in the public lighting of the city of Água Nova-RN. The main components of the system were considered, including photovoltaic modules, charge controller, and energy storage system (battery). With the implementation of this system, public lighting would become completely independent of other energy sources, contributing to the sustainability of the city. After detailed analysis, the economic and financial feasibility of the off-grid photovoltaic system to be installed on 334 public lighting poles over 10 years was confirmed. The initial cost of the project was R\$564,452.00, with a payback period of eight years and five months. At the end of the 10 years, the project would generate a profit of R\$68,995.72, demonstrating the effectiveness of the payback in relation to the initial investment. Highlighting the off-grid photovoltaic system as a sustainable solution for the public lighting of the city of Água Nova-RN.

Keywords: Off-grid photovoltaic system. SFI. Economic viability. Street lighting. Efficiency

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:Matriz elétrica Brasileira no ano de 2011 e 2021.	19
Figura 2: Índice da Irradiação Solar num local específico no período de um dia.....	22
Figura 3: Angulo de incidência dos raios solares.	23
Figura 4: Efeito da inclinação do módulo fotovoltaico.	24
Figura 5: Estrutura de uma junção de célula fotovoltaica.	26
Figura 6: Célula de silício monocristalino.	27
Figura 7: Celular de silício policristalino	28
Figura 8: Célula filme fino.....	29
Figura 9: Estrutura componentes de um módulo fotovoltaico.	30
Figura 10: Classificação de vias públicas.....	33
Figura 11:Componentes sistema off-grid básico.	35
Figura 12: Estrutura do Sistema fotovoltaico Integrado na Rede.	36
Figura 13: Bateria de chumbo-ácido reguladas por válvula (VRLA).....	39
Figura 14: Vida útil de uma bateria em função da temperatura.....	40
Figura 15: Número de ciclos de carga e descarga de uma bateria em profundidade.	41
Figura 16:Controlador de carga para sistema fotovoltaico.	43
Figura 17: localização e projeção do projeto.....	50
Figura 18: Média de irradiação solar na cidade de Água Nova-RN.....	52
Figura 19: Especificação da lâmpada	55
Figura 20: Gráfico da viabilidade economia e o fluxo de caixa em 10 anos do projeto com sistema OFF-GRID	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Capacidade Instalada em Geração de Energia Elétrica.	31
Tabela 2: Classe de iluminação para cada tipo de via.	34
Tabela 4: Media estimada de gasto e consumo em KWh de energia elétrica pela iluminação pública no período de 2020 a 2022.	54
Tabela 5: custo inicial para implantação do projeto fotovoltaico Off-Grid.	58
Tabela 6: Custo em demanda do projeto no período de 10 anos.	59
Tabela 7: viabilidade economia do projeto com sistema Off-Grid.	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CO ₂	Dióxido de Carbono
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
PIB	Produto Interno Bruto
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
TEP	Toneladas Equivalentes de Petróleo
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia
BEM	Balanço Energético Nacional
MMGD	Micro e Minigeração Distribuída
SCEE	Sistema de Compensação de Energia Elétrica
MW	Megawatt
VRLA	Valve Regulated Lead Acid
VPL	Valor Presente Líquido
TIR	Taxa Interna de Retorno
CREESEB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito
Kwh	Quillwort Hora
LED	Light-Emiting Diode
PIS	Programa de Integração Social
COFINS	Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
ICMS	Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços
CIP	Contribuição para Iluminação Pública
SMD	Surface Mounted Device
WP	Watt-pico
Ah	Ampère hora

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. OBJETIVO	15
1.1.1. Objetivo Geral	15
1.1.2. Objetivos Específicos	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1. ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL	18
2.1.1. Composição da Matriz de Energia no Brasil	18
2.2. FONTE RENOVÁVEIS	20
2.3. ENERGIA SOLAR	21
2.3.1. Radiação Solar	21
2.3.2. Irradiância e Insolação	22
2.4. ÂNGULO DE INCIDÊNCIA DOS RAIOS SOLARES E INCLINAÇÃO DO MÓDULO SOLAR	23
2.5. ENERGIA FOTOVOLTAICA	24
2.5.1. Efeito Fotovoltaico	25
2.5.2. Células Fotovoltaicas	25
2.5.3. Tipo de Células	26
2.5.4. Estrutura do Módulo Fotovoltaico	29
2.6. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL DIANTE DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	30
2.7. ILUMINAÇÃO PÚBLICA	31
2.8. ESTRUTURA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-GRID DE ENERGIA	34
2.9. APLICAÇÕES E COMPONENTES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-GRID	36
2.9.1. Bateria	38
2.9.2. Controlador de Carga e Suas Funções	42
2.10. TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA BRASILEIRA	44
2.10.1. Classes e Subclasse de Consumo	45
2.11. VIABILIDADE ECONÔMICA E FINANCEIRA DO PROJETO	48
2.11.1 Valor Presente Líquido – VPL	48

2.11.2. Taxa Interna de Retorno – TIR.....	49
2.11.3. Payback.....	49
2.12. ÁREA PÚBLICA ONDE SERÁ IMPLANTADA O PROJETO	50
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
3.1. NÍVEL DE RADIAÇÃO SOLAR EM ÁGUA NOVA-RN	51
3.2. SISTEMA OFF-GRID PROPOSTO PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA	52
3.3. ESTIMATIVA DE GASTO E CONSUMO DE ENERGIA NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA DA CIDADE DE ÁGUA NOVA-RN	54
3.4. ESPECIFICAÇÕES DA LUMINÁRIA A SER UTILIZADA.....	55
3.5. CÁLCULO PARA POTÊNCIA DO PAINEL FOTOVOLTAICO.....	56
3.6. CÁLCULO PARA CAPACIDADE DA BATERIA	56
3.7. CÁLCULO PARA O CONTROLADOR DE CARGA.....	57
3.8. ESTIMATIVA DO CUSTO DE IMPLEMENTAR O PROJETO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-GRID	57
3.9. RESULTADO DA ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA E FINANCEIRA DO PROJETO	59
4. CONCLUSÃO	63
Anexo A – painel fotovoltaico Resun RS6E-155M	69
Anexo B – Bateria de chumbo-ácido reguladas por válvula (VRLA)	72
Anexo C – Controlador de Carga PWM 20A - Epever Landstar LS2024EU	75

1. INTRODUÇÃO

O aproveitamento da energia solar é uma fonte de calor e luz na superfície terrestre, representando atualmente uma das alternativas energéticas mais promissoras para suprir as necessidades do desenvolvimento humano. É importante lembrar que, o sol é a fonte primordial de praticamente todas as outras formas de energia na Terra. Em última análise, a maioria das fontes de energia é derivada da energia solar. Isso destaca a importância fundamental do sol como uma fonte de energia para sustentar nosso modo de vida e impulsionar o progresso tecnológico (Pinho; Galdino, 2014).

Hoje, no Brasil, as principais fontes de geração de energia são as hidrelétricas, embora o país conte com diversos outros recursos naturais para a produção de energia. No entanto, as usinas hidroelétricas nem sempre são capazes de suprir toda a demanda de energia, o que leva a uma parcela significativa da energia gerada ser proveniente das usinas termoelétricas. Infelizmente, muitas dessas usinas termoelétricas utilizam combustíveis fósseis, o que apresenta diversas desvantagens, incluindo o alto custo de produção de energia e a geração de altos níveis de poluição, contribuindo para a emissão de dióxido de carbono (CO₂) e agravando o problema do aquecimento global (Oliveira, 2017)

Atualmente, a energia solar é uma das fontes renováveis que está ganhando destaque globalmente e despertando um grande interesse. Graças a avanços tecnológicos significativos, a captação e utilização da energia solar atingiram níveis mais eficientes. No entanto, é importante notar que, apesar desse progresso, a energia solar ainda representa apenas uma pequena parte da matriz energética global.

Diante dos desafios decorrentes do consumo excessivo de recursos energéticos não renováveis e da necessidade de fornecer acesso à eletricidade em áreas sem infraestrutura elétrica, sem comprometer a qualidade de vida e o crescimento econômico, o sistema fotovoltaico off-grid surge como uma solução. Esse sistema busca promover o uso contínuo e eficiente de fontes de energia sustentáveis, contribuindo para a tranquilidade dos impactos ambientais e facilitando o acesso à energia em locais remotos e desatendidos.

Os sistemas autônomos, isolados ou off-grid, podem ser aplicados em uma variedade de setores, incluindo áreas onde não há acesso a uma rede elétrica. Eles

são usados para fornecer eletricidade em residências, iluminação pública, sinalização de estradas, telecomunicações e até mesmo para alimentar veículos elétricos, embarcações, aeronaves, satélites e outras aplicações. Em regiões que dependem de geradores movidos a diesel ou de outras fontes de energia para geração elétrica, ou em locais que não possuem infraestrutura de distribuição de energia, sistemas fotovoltaicos off-grid podem ser uma escolha vantajosa devido aos menores impactos ambientais em comparação com outras tecnologias (Villalva, 2015).

Visto que a partir do momento em que a população cresce, a demanda por energia elétrica automaticamente aumenta. Portanto, este estudo tem como objetivo analisar a viabilidade econômica e financeira da instalação de um projeto com o sistema fotovoltaico off-grid para fornecer toda a energia necessária para a iluminação pública da cidade de Água Nova-RN. De forma que será estudada e determinada se essa instalação é viável ou não, permitindo que o poder público avalie o investimento inicial, o tempo de retorno e a economia anual esperada. Levando em consideração que a geração de energia solar fotovoltaica representa uma alternativa altamente vantajosa para reduzir os gastos do cofre público com consumo de energia, devido à sua eficiência e à localização geográfica favorável, este estudo busca explorar seu grande potencial de produção de energia, que pode ser aproveitado em larga escala de forma sustentável e abundante.

Através deste trabalho, será apresentada uma análise detalhada do panorama da matriz energética brasileira, os custos associados à energia elétrica no país, o modelo de funcionamento dos sistemas de energia solar fotovoltaica off-grid e seus componentes, bem como o método de avaliação da viabilidade econômico-financeira do projeto. Com base em todo o levantamento e planejamento teórico realizado, os resultados obtidos servirão para demonstrar os custos envolvidos e o progresso tecnológico relacionado à implantação de um sistema fotovoltaico autônomo.

1.1. OBJETIVO

1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo principal desse projeto foi realizar um estudo acerca da viabilidade da instalação de um sistema fotovoltaico off-grid, com a intenção de ser aplicado no setor de iluminação pública rural e urbana da cidade de Água Nova-RN.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Realizar levantamento do consumo mensal e anual com vistas a obter informações suficientes para realizar o dimensionamento do sistema fotovoltaico;
- Estudar os componentes que estruturam o sistema autônomo off-grid (painéis fotovoltaicos, baterias, controladores de cargas, etc.);
- Realizar o cálculo para o dimensionamento do sistema fotovoltaico off-grid;
- Realizar um levantamento geográfico da cidade de Água Nova-RN com o intuito de verificar o nível de radiação e incidência solar da região.

1.2. METODOLOGIA DA PESQUISA

Do ponto de vista dos seus objetivos, este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa exploratória e descritiva. Quanto ao procedimento de coleta de dados, podemos categorizá-la como sendo do tipo levantamento documental devido ao fato de que a fonte de dados será constituída de documentos que não foram submetidos a algum tipo de tratamento analítico (Lozada; Nunes, 2019). A fonte de dados que irá subsidiar tal levantamento documental neste trabalho serão os extratos do consumo de energia da iluminação pública fornecida pela prefeitura da cidade de Água Nova-RN. Partindo destes dados, será realizada uma análise do consumo médio de energia da iluminação pública, ao longo de um ano. Sendo feito um levantamento dos três últimos anos (2020, 2021 e 2022). A partir desses dados coletados será possível colocar a proposta do projeto em prática, desenvolvendo estudos mais aprofundados na literatura, procurando entender e especificar melhor, a viabilidade do projeto fotovoltaico off-grid na iluminação pública da cidade de Água Nova-RN, onde podemos mostrar os pontos de melhoria para o meio ambiente e custo econômico.

De posse do consumo médio de energia mensal, foi possível realizar o dimensionamento da potência das placas fotovoltaicas e a bateria para alimentar a lâmpada conectada ao sistema durante o período noturno. A partir deste dimensionamento, será possível realizar o levantamento dos custos financeiros para a implementação do sistema.

1.3. JUSTIFICATIVA

Os sistemas fotovoltaicos representam conjuntos de dispositivos capazes de converter a energia solar em energia elétrica, aproveitando as características fotovoltaicas que ocorrem em materiais semicondutores, denominada do silício e o germânio. Este projeto tem como foco a iluminação pública e segue as diretrizes condicionais da norma NBR (2012), que definem a iluminação pública como o fornecimento de luz durante o período noturno e em situações de escurecimento durante o período diurno. Dessa forma, a localização escolhida para a melhoria do projeto de iluminação pública está em conformidade com essas diretrizes. O objetivo deste projeto é disponibilizar iluminação para a cidade de Água Nova-RN, utilizando um sistema fotovoltaico off-grid. Importante ressaltar que esse sistema não sobrecarregará a rede de iluminação pública da cidade, garantindo assim um fornecimento de energia sustentável e eficiente.

A utilização do sistema fotovoltaico apresenta várias vantagens, como: matéria prima inesgotável, baixa emissão de poluentes durante a geração de energia e a possibilidade de sua utilização em qualquer local. Apesar das vantagens, esse sistema ainda passa por um processo de estudo e desenvolvimento; por isso, apresenta algumas desvantagens, como: variação sazonal da radiação solar e condições climáticas; necessidade de grandes áreas captadoras para a geração de maiores potenciais; sistemas de armazenamento de energia de baixa eficiência e um investimento financeiro mais elevado que o sistema convencional.

Este trabalho tem como foco o estudo acerca do dimensionamento de um sistema fotovoltaico (autônomo) off-grid, ou seja, não conectado à rede elétrica convencional onde toda energia gerada é utilizada para suprir o consumo de energia necessário para a iluminação pública. O objetivo principal é implementar esse projeto para atender às necessidades de iluminação pública na cidade de Água Nova-RN. A independência do projeto em relação à concessionária de energia é um dos principais benefícios desse sistema, uma vez que, em situações de falta de energia, a iluminação pública permanece em funcionamento. Isso, contribuirá para uma maior segurança e conforto da população local.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão abordadas as fundamentações teóricas que constituem a base de apoio para a avaliação e análise das projeções relacionadas à implementação da proposta deste trabalho.

2.1. ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Nas três últimas décadas, o aumento da produção de energia primária no Brasil tem sido correlacionado com o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB). No entanto, o consumo de eletricidade teve um incremento notável, impulsionado pela crescente eletrificação do país e pela implantação de indústrias de grande demanda energética, como o setor de alumínio, cimento e papel (Goldemberg; J. Luvon, O., 2007).

De acordo com informações disponíveis no site do Governo do Brasil, em 2021, a nossa demanda total de energia atingiu 301,5 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (TEP), representando um crescimento de 4,5% em relação ao ano de 2020. Esse aumento reflete o crescimento da economia, com PIB registrando uma taxa de crescimento de 4,6%. O Brasil também desempenhou um papel significativo no cenário energético, respondendo por 5% do consumo mundial de energia. Destaca-se que a energia solar teve um crescimento expressivo, registrando um aumento de 34,5% em 2021, enquanto a energia eólica também apresentou um crescimento notável de 15,5%. A combinação dessas fontes renováveis contribuiu com 50% do aumento na participação das matrizes renováveis na matriz energética brasileira, demonstrando um compromisso crescente com fontes de energia mais limpas e sustentáveis do país (Brasil, 2020).

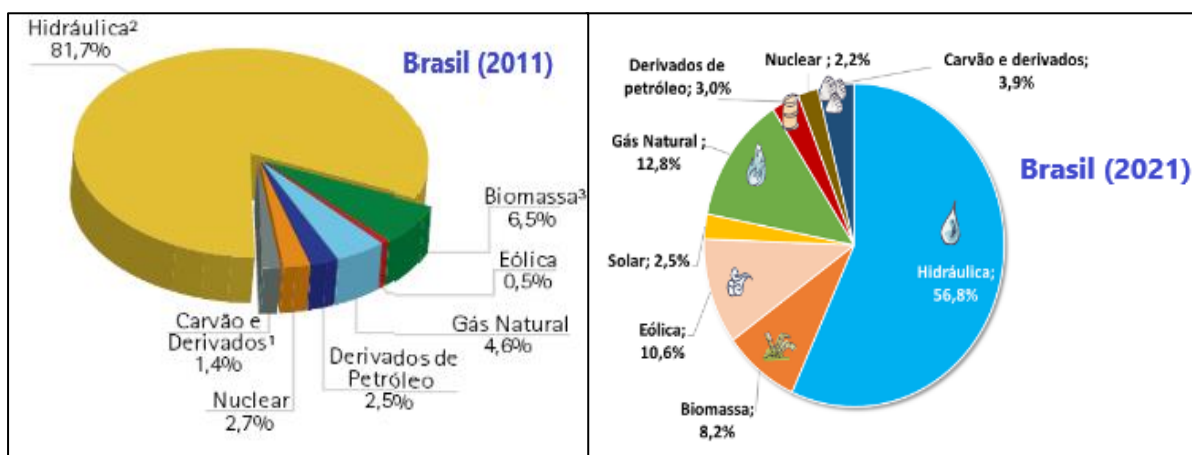
2.1.1. Composição da Matriz de Energia no Brasil

Diante das crescentes preocupações ambientais, em 2002, o governo brasileiro implementou o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia (PROINFA), com o objetivo de ampliar a utilização das fontes de energia eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas na matriz energética nacional. No ano de 2021, as

principais fontes energéticas no Brasil foram identificadas como hidrelétrica, gás natural, biomassa, petróleo, carvão, energia eólica e energia solar (Epe, 2022).

Em relação à composição da matriz elétrica brasileira, Figura 1, observa-se a evolução da composição da matriz elétrica brasileira no período de 2011 a 2021, evidenciando o crescimento das fontes renováveis e a redução gradual da dependência de combustíveis fósseis que representaram 21,9% do total, com uma distribuição de 3,0% para petróleo e seus derivados, 12,8% para gás natural, 3,9% para carvão e seus derivados, e 2,2% para energia nuclear. Por outro lado, as energias renováveis constituíram aproximadamente 78,1% da matriz energética, distribuídas da seguinte forma: 56,8% de energia hidrelétrica, 8,2% de biomassa, 10,6% de energia eólica e 2,5% de energia solar.

Figura 1: Matriz elétrica Brasileira no ano de 2011 e 2021.



Fonte: (Ben, 2022; Ben, 2012).

Essa composição das matrizes elétricas nacionais destaca a vantagem do Brasil em comparação com outros países, pois demonstra uma menor dependência de recursos energéticos não renováveis. Essa diversificação da matriz energética é benéfica tanto do ponto de vista ambiental, pela redução das emissões de gases de efeito estufa, quanto do ponto de vista econômico, pela menor vulnerabilidade a oscilações de preços de combustíveis fósseis (Epe, 2022).

Essa tendência de aumento das energias renováveis na matriz energética brasileira reflete os esforços do país para promover a sustentabilidade e a transição para fontes mais limpas e renováveis de energia.

As fontes de energia hidrelétrica apresentada no Brasil, no intervalo de dez anos, nos mostram uma atuação desenvolvida quando se é representada na matriz

energética brasileira. Onde se tem um percentual de 56,8% da oferta de energia elétrica no ano 2021, e de 81,7% em 2011, conforme apresentado no BEN (2012). Mostrando-se o crescimento de energia limpa no país, sendo que nas instalações de usina hidrelétrica, pode nos trazer vários impactos negativos, ocasionando danos socioambiental e podendo gera um desequilíbrio do ecossistema local.

- **Expansão da Econômica e o uso de Energia Elétrica**

O consumo de energia elétrica é um dos pilares fundamentais para o desenvolvimento econômico de um país. O aumento no consumo de energia desencadeia impactos em diversos setores financeiros, incluindo a indústria, comércio e serviços, resultando no crescimento e no aumento da renda da população. Consequentemente, a população adquire bens e serviços com recursos tecnológicos mais avançados e equipamentos sofisticados, que demandam um maior consumo de energia elétrica. Nos últimos meses, esses fatores desempenharam um papel crucial no crescimento do consumo global de energia. (Aneel, 2008).

A energia elétrica desempenha um papel crucial no crescimento econômico e no nível de renda da população, refletindo-se nas diferentes classes sociais por meio de seus padrões de consumo. Esses padrões de consumo, por sua vez, mostra o estilo de vida e o poder aquisitivo da sociedade. A produção de energia está inteiramente ligada ao crescimento econômico, sendo que, no Brasil, o PIB cresce de mãos dadas com o aumento do consumo de energia (Francisco, 2010; Neto; Corrêa; Perobelli, 2016). Isso ressalta a importância da crítica da energia como um fator influente na economia do país.

2.2. FONTE RENOVÁVEIS

O sol representa a principal fonte de energia para o nosso planeta. A cada ano, a superfície terrestre recebe uma quantidade de energia solar, na forma de luz e calor, que excede em milhares de vezes as demandas globais durante o mesmo período. No entanto, apenas uma fração mínima desse enorme potencial energético é devidamente explorada. Com algumas abordagens, é importante ressaltar que praticamente toda a energia utilizada pela humanidade tem sua origem no Sol (Villalva, 2015).

A energia proveniente da biomassa, ou matéria orgânica, é totalmente derivada da energia solar por meio do processo de fotossíntese, que envolve a conversão da energia da luz solar em energia química. Da mesma forma, a energia da água dos rios, que é utilizada para movimentar as turbinas das hidrelétricas, tem origem na evaporação, precipitação e derretimento do gelo, evento que ocorre devido ao calor do sol. Quanto à energia dos ventos, ela se origina das variações de temperatura e pressão na atmosfera, que são causadas pelo aquecimento solar. Por fim, os combustíveis fósseis, como carvão, gás natural e petróleo, também têm sua origem na energia solar, pois são o resultado da escassez da matéria orgânica acumulada ao longo de milhões de anos (Villalva, 2015).

2.3. ENERGIA SOLAR

2.3.1. Radiação Solar

A radiação solar refere-se à energia emitida pelo sol na forma de ondas eletromagnéticas. Essa radiação é composta por diversos comprimentos de onda, abrangendo desde raios gama e raios X, passando pela luz visível, até as ondas de rádio. No entanto, a maior parte da radiação solar que atinge a terra é composta por luz visível e uma pequena porção de radiação infravermelha e ultravioleta. Onde sol fornece $1,5125 \times 10^{18}$ kWh de energia à superfície da terra, todos os anos. Essa energia é formada por 50% de luz visível, 45% de radiação infravermelha invisível e 5% de radiação ultravioleta invisível, essa energia nos chega na forma de radiação eletromagnética que passa a ser transmitida até a terra (Kalogirou, 2016).

Conforme destacado por Villalva (2015), a energia do sol é transmitida para o nosso planeta através do espaço na forma de radiação eletromagnética. Essa radiação é constituída de ondas eletromagnéticas que possuem frequências e comprimentos de ondas diferentes. Quanto maior a frequência, maior a energia transmitida. Dentro desse contexto, surge a distinção entre dois tipos principais de radiação solar que alcançam o nosso planeta: a radiação direta e a radiação difusa. De onde temos a radiação direta que corresponde a radiação proveniente diretamente da superfície solar, ou seja, é aquela que não sofreu nem um tipo de interferência de nuvem ou algo para chegar até ao solo. A radiação difusa é aquela recebida por um

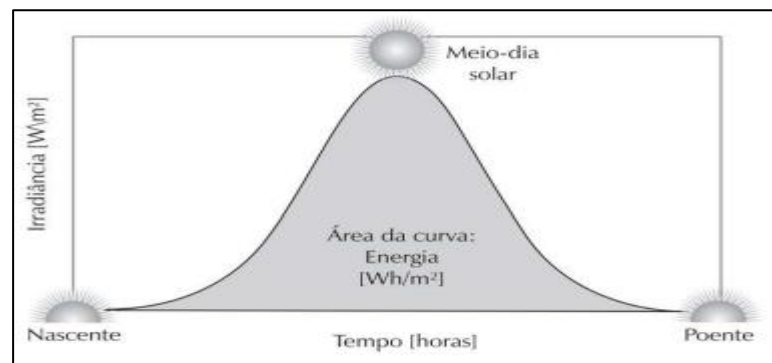
corpo após a direção dos raios sofrerem mudança de direção na atmosfera e da reflexão da luz na poeira, nas nuvens e em outros objetos.

2.3.2. Irradiância e Insolação

A irradiância, também chamada de irradiação, é uma grandeza utilizada para a realizar a avaliação da radiação solar que chega a uma determinada superfície e sua unidade seno expressa por W/m^2 (watt por metro quadrado). Com o valor padrão de 1000 W/m^2 as eficiências das células e módulos fotovoltaicos de diversos fabricantes podem ser especificadas e comparadas com base em uma condição padrão de radiação solar. (Villalva; 2015).

Exibida na Figura 3, temos a representação da irradiância solar ao longo de um dia completo, demonstrando medições que integram os valores de irradiância ao longo do tempo.

Figura 2: Índice da Irradiação Solar num local específico no período de um dia.



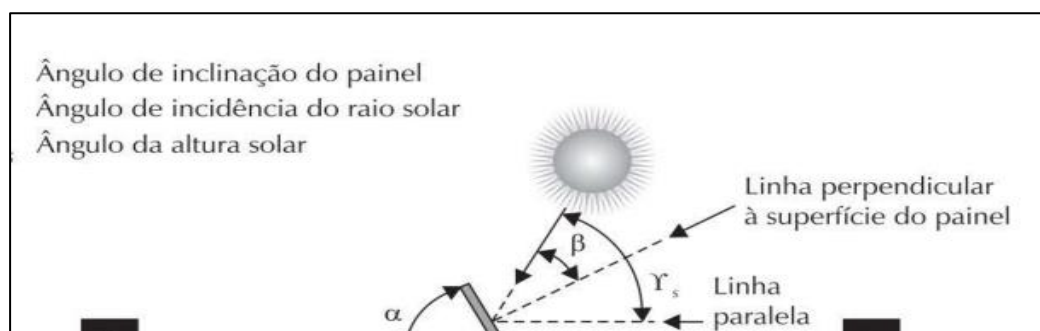
Fonte: (Villalva; 2015).

Ou seja, a Figura 3 calcula a área embaixo da curva, apresentando a irradiância, obtém-se o valor da energia recebida do sol em um determinado local durante o dia por unidade de área, sendo denominada insolação. Onde a insolação é considerada importante para a utilização na energia solar, quanto maior a insolação em uma determinada área, maior será o potencial para aproveitar a energia solar e transformá-la em energia elétrica (Villalva, 2015).

2.4. ÂNGULO DE INCIDÊNCIA DOS RAIOS SOLARES E INCLINAÇÃO DO MÓDULO SOLAR

A maneira como os raios solares atingem a superfície terrestre é influenciada pela posição do Sol no céu, o que é determinado pelos ângulos azimutal, zenital e pela altura solar. Esses ângulos podem variar ao longo do dia e do ano, o que tem um impacto significativo na quantidade de radiação solar recebida. (Villalva, 2015, p. 55). A Figura 4 ilustra como os raios solares incidem em um módulo solar.

Figura 3: Ângulo de incidência dos raios solares.

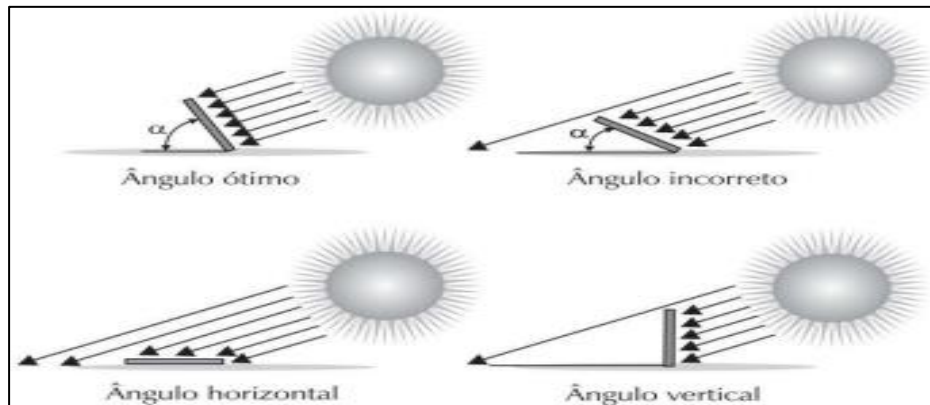


Fonte: (Villalva, 2015).

Como visto na Figura 4, o módulo deve ser instalado com o lado das células voltada para o norte, em um ângulo de inclinação α os raios solares incidindo sobre a superfície β , apontando na direção da reta perpendicular à superfície do módulo, conforme a altura solar r_s varia em cada dia do ano, fazendo com que o módulo de inclinação β receba raios solares diferentes. (Villalva, 2015).

Considerando que a maioria dos painéis solares possui uma inclinação de ângulo fixo, é crucial selecionar a inclinação apropriada. A escolha inadequada desse ângulo pode resultar em uma diminuição na eficiência da captação de luz solar, afetando negativamente a produção de energia elétrica pelo sistema fotovoltaico (Villalva, 2015, p. 55). Mostrando na Figura 5 o que acontece quando o módulo solar é instalado em diferentes ângulos de inclinação com relação ao sol.

Figura 4: Efeito da inclinação do módulo fotovoltaico.



Fonte: (Villalva, 2015).

No primeiro caso ilustrado na Figura 5, o ângulo de inclinação é ajustado de forma a direcionar todos os raios solares de maneira perpendicular para a superfície do módulo, permitindo a captura máxima da radiação solar direta. No segundo caso, o módulo possui um ângulo de inclinação mais baixo, resultando em uma captação significativamente inferior de energia em comparação com o primeiro cenário, apesar de receber os mesmos feixes de raios solares. Isso ilustra a instalação incorreta do módulo com uma inclinação inadequada. Nos outros dois casos, os módulos são instalados nas posições horizontal e vertical. Na posição horizontal, a captação de energia tende a ser prejudicada durante o inverno, quando a altura do sol é menor, mas atinge seu pico máximo durante o verão, quando o sol está mais alto. Por outro lado, na posição vertical, a produção de energia é maior no inverno e menor no verão. Isso mostra que o padrão se inverte entre essas duas orientações. É evidente que os módulos com ângulos de inclinação fixos não conseguem o máximo de captação solar ao longo do todo o ano. Assim é importante escolher uma posição do ângulo que permita uma produção de energia adequada durante todas as estações do ano, levando em consideração as variações na altura do sol (Villalva, 2015).

2.5. ENERGIA FOTOVOLTAICA

O sol é considerado umas das principais fonte de energia da Terra. Estando envolvido na formação de várias outras formas de gera energia, tendo uma grande responsabilidade em manter a vida no planeta Terra. Com o objetivo de encontrar

fontes de energia elétrica limpas e eficiente, foram desenvolvidas pesquisa com intuito de converte a energia solar em energia elétrica (Fernandes, 2021)

A primeira descoberta do dispositivo fotovoltaico foi em 1839, por um físico e cientista francês, Alexandre Edmond Becquerel. Ele conseguiu mostrar através de uma tensão elétrica resultante da ação da luz sobre um eletrodo metálico imerso em uma solução química. Diante desse conceito, Becquerel denominou esse fenômeno físico como efeito fotovoltaico (Villalva, 2015).

2.5.1. Efeito Fotovoltaico

O efeito fotovoltaico é um tipo de tecnologia, que consegue converte a luz solar em energia elétrica, utilizando células fotovoltaicas. Essas células são compostas de material semicondutores, principalmente o silício e o germânio, tendo várias partes e componentes que funcionam em conjunto para captar e gerar eletricidade quando os fótons de luz solar incidem sobre elas, liberando elétrons e gerando uma corrente elétrica.

O processo ocorre da seguinte maneira: quando a luz solar atinge a superfície de um material semicondutor, parte da energia dos fótons da luz é recebida pelos elétrons presentes no material. Essa energia gerada permite que os elétrons se libertem das ligações atômicas, gerando pares de elétrons livres e buracos (falta de elétrons). Esses elétrons livres podem então se movimentar através do material, criando assim a corrente elétrica (Villalva, 2015).

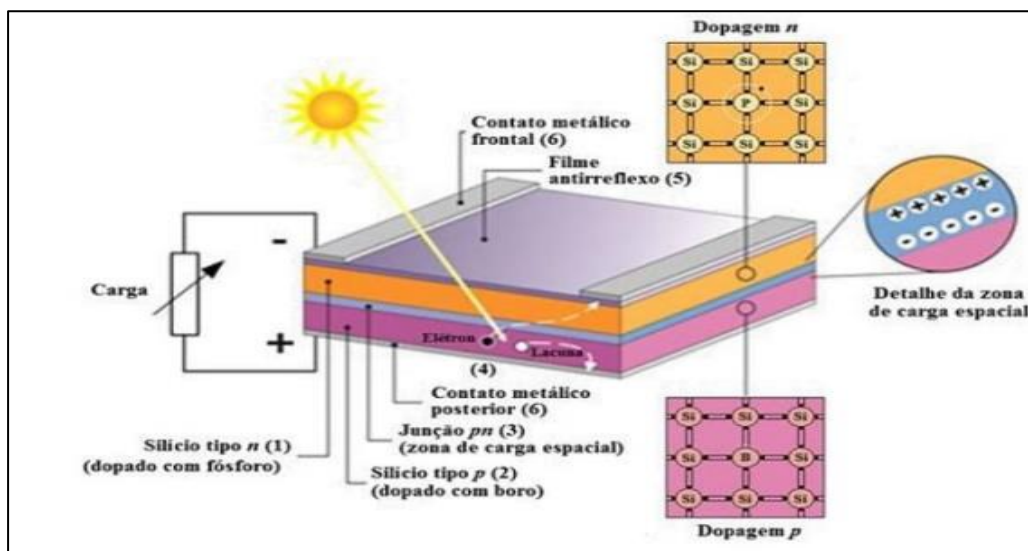
2.5.2. Células Fotovoltaicas

As células fotovoltaicas são um fenômeno físico que possibilita a conversão direta da luz em eletricidade. Esse processo ocorre quando a luz solar, ou radiação eletromagnética solar, incide sobre uma célula composta por materiais semicondutores que possuem propriedades específicas para esse fim. Onde são constituídas na junção de dois materiais semicondutores, onde uma metade do material é dopado com elementos que o deixem com ausência de elétrons, (material tipo P), e, na outra metade com excesso de elétrons, (material tipo N), formando uma junção de P e N, em uma zona de depleção, formando um campo elétrico que inibe a difusão de cargas entre os materiais. Na incidência da radiação solar sobre a célula,

os elétrons passam para o lado N e as lacunas para o lado P. Assim, ocorre o surgimento de diferença de potencial em uma célula fotovoltaica, produzindo eletricidade (Villalva, 2015).

Na Figura 6 é possível observar a estrutura fundamental de uma célula fotovoltaica de silício, na qual podemos identificar os seguintes componentes: a região tipo N (1); região do tipo P (2); região de carga (3), aonde se forma a junção PN e o campo elétrico; geração de par elétron-lacuna (4); filme antirreflexo (5); grade metálica (6)

Figura 5: Estrutura de uma junção de célula fotovoltaica.



Fonte: (Pinho; Galdino, 2014).

Embora uma única célula fotovoltaica produza uma quantidade de energia relativamente baixa, a solução para atender a demanda energética específica de forma mais substancial envolve a união de várias células em um conjunto conhecido como módulos fotovoltaicos. Esses módulos são compostos por um agrupamento de células fotovoltaicas montadas em uma estrutura rígida, conectadas tanto em série quanto em paralelo, a fim de gerar uma tensão mais elevada e atender às necessidades de energia em larga escala.

2.5.3. Tipo de Células

Atualmente existem várias tecnologias para a produção de células e módulos fotovoltaicos. Adiante conseguimos apresentar as tecnologias de células fotovoltaicas

mais comuns oferecidas pelo mercado. São elas: a do silício monocristalino, silício policristalino e a do filme fino de silício.

- Célula de silício monocristalino

As células de silício monocristalino são produzidas a partir de blocos de silício ultrapuro. Esses blocos são submetidos a altas temperaturas, passando por um processo de cristalização como é conhecido o método Czochralski. Esse procedimento resulta na formação de um lingote de silício monocristalino com uma estrutura molecular uniforme, proporcionando-lhe um brilho e uma uniformidade notável. Para que as células fotovoltaicas se tornem operacionais, elas passam por um processo químico no qual impurezas são introduzidas em ambas as faces, formando as camadas de silício P e N, que são específicas à base de seu funcionamento. Finalmente, as células semiacabadas recebem um revestimento metálico em uma das faces, um grau metálico na outra face e uma camada de material antirreflexivo na superfície que será exposta à luz. Esse conjunto de camadas e revestimentos é fundamental para maximizar a eficiência da conversão de energia solar em eletricidade e proteger as células contra danos e perdas devido à reflexão da luz. (Villalva, 2015). Podendo ser visto com detalhe na Figura 7 seguir.

Figura 6: Célula de silício monocristalino.



Fonte: (Pinho; Galdino, 2014).

As características principais da célula monocristalina é ser uniforme, possui uma coloração azulado escuro ou preto, tem uma boa eficiência cerca de 15% a 18%, contando preço de produção no mercado financeiro bem mais elevado do que outros tipos de células. Em função da sua característica construtiva, são células rígidas e

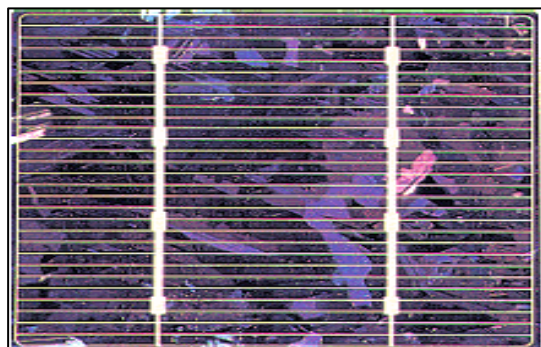
quebradiças, que precisam ser montadas em módulos para adquirir resistência mecânica para o uso prático (Villalva, 2015).

- Celulares de silício policristalino

As células de silício policristalino são originadas a partir de “lingotes de silício policristalino, que consistem em uma aglomeração de pequenos cristais com tamanhos e orientações variadas” (Villalva, 2015, p. 70).

Quando comparadas às células de silício monocristalino, as células policristalinas têm uma vantagem significativa em termos de custo de fabricação, mas isso geralmente resulta em uma redução na eficiência, que normalmente fica na faixa de 13% a 15%. Uma característica distintiva das células policristalinas é a sua aparência heterogênea, geralmente exibe uma tonalidade azul, embora a cor possa variar dependendo do tratamento antirreflexivo empregado (Villalva, 2015), observando-se na Figura 8 logo abaixo.

Figura 7: Celular de silício policristalino



Fonte: (Pinho; Galdino, 2014)

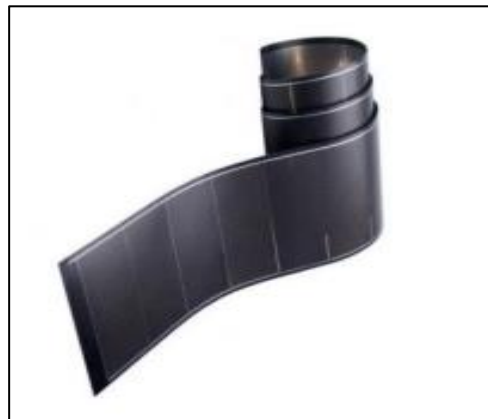
Como pode ser visto na Figura anterior a presença de manchas na coloração das placas são, devido ao tipo de silício empregado em sua fabricação, como as monocristalino também são células rígidas e quebradiças, que precisam ser montadas em módulos para adquirir resistência mecânica (Villalva, 2015).

- Célula de silício filme fino

As células de filmes finos representam uma tecnologia relativamente recente que surgiu depois das tecnologias cristalinas terem sido bem desenvolvidas. Ao contrário das células cristalinas, as células de filmes finos são fabricadas usando camadas muito finas de silício sobre uma base que pode ser rígida ou flexível, como

ilustrado na Figura 9. Um dos principais atrativos dessa tecnologia é seu menor consumo de energia durante o processo de fabricação, tornando-a potencialmente mais acessível a um custo reduzido. No entanto, apesar do custo relativamente baixo, os dispositivos de filmes finos apresentam uma eficiência bastante limitada, com um máximo de cerca de 10%. Isso significa que eles requerem uma área de módulo significativamente maior para produzir a mesma quantidade de energia que as tecnologias cristalinas. No entanto, uma vantagem importante das células de filmes finos está relacionada ao seu melhor aproveitamento da luz solar, especialmente em condições de radiação solar baixa ou difusa. Isso as torna uma escolha interessante em locais com níveis variáveis de radiação solar (Villalva, 2015).

Figura 8: Célula filme fino.

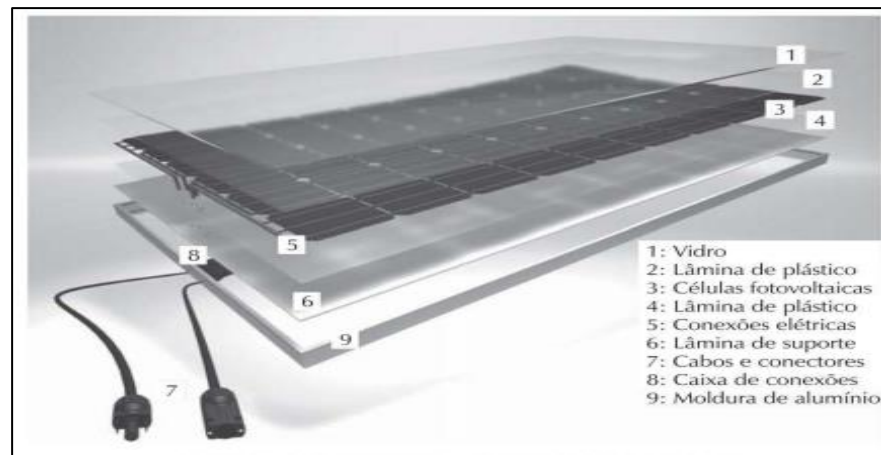


Fonte: (Pinho; Galdino, 2014).

2.5.4. Estrutura do Módulo Fotovoltaico

Os painéis ou módulos fotovoltaicos tem o mesmo significado, construída de forma conjunta por células montadas em série e/ou paralelo, conectadas eletricamente produzindo corrente e tensão, sobre uma estrutura rígida que passe uma proteção maior para as celular. Mostramos na figura 10 toda a estrutura e componentes de um módulo fotovoltaico.

Figura 9: Estrutura componentes de um módulo fotovoltaico.



Fonte: (Villalva, 2015).

As características de uma célula fotovoltaica mostram que um módulo pode ter cerca de 36, 54, 60 ou mais células, isso depende muito da sua classe de potência, pelo fato de quanto mais celular maior será a potência dos módulos fotovoltaicos, podendo fornecer uma tensão elétrica de até aproximadamente 0,6 V, dependendo da sua captação de luz. (Villalva, 2015).

2.6. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL DIANTE DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Em abril de 2012, resolução normativa ANEEL nº 482/2012, entrou em vigor, estabelecendo quais as condições necessárias para que o próprio consumidor brasileiro pudesse ter acesso a sua própria geração de energia, na forma de microgeração e minigeração distribuídas de energia elétrica (MMGD) aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o Sistema de compensação de energia elétrica (SCEE), assim conseguindo reduzir os empecilhos na geração de pequeno porte para rede de distribuição, sendo visado as inovações sustentabilidade do poder econômico, consciência com meio ambiente por ser uma energia renovável e sustentável. (Aneel, 2012).

A resolução foi atualizada por meio da normativa nº 687 em 24 de novembro de 2015 e nº 786 em 17 de outubro de 2017, diante disso seu texto foi alterado para

aplicação das novas regras do limite de potência para microgeração e minigeração, sendo assim classifica da seguinte forma:

- **Microgeração:** são sistema de geração de energia com a potência elétrica menor ou igual a 75 KWp;
- **Minigeração:** são sistema de geração de energia com a potência elétrica acima de 75 KWp e igual ou abaixo de 3 MWp, podendo ser estendida até 5 MWp para as demandas de fontes hídricas de energia renováveis.

Os dados da Tabela 1, retirados do Anuário Estatístico de Energia Elétrica do ano de 2021 com (ano base 2020), mostram que no Brasil tem 174.737 MW (megawatt) de energia elétrica instalada, onde parte dela é voltado para energia solar com 3.287 MW de instalações. Na região nordeste a capacidade é de 40.401 MW em instalações do qual 2.328 MW pertence a energia solar. Já entres os estados o Rio grande do Norte foi instalado 5.415 MW, onde só 125 MW faz parte das instalações de energia solar, então resultado é visto com um número bem baixo, pois só 2,30% dessas instalações de energia utilizada no estado é oriunda de energia solar, mostrando assim o quanto esse tipo de energia deve ser incentivado, fazendo com que todo o desenvolvimento sustentável da região possa se desenvolver.

Tabela 1: Capacidade Instalada em Geração de Energia Elétrica.

Território	Energia Solar (MW)			Total de utilização (MW)		
	SP	APE	TOTAL	SP	APE	TOTAL
Brasil	3.271	16	3.287	149.423	25.314	174.737
Nordeste	2.319	10	2.329	37.559	2.842	40.401
Rio Grande Do Norte	0	7	125	5.340	76	5.415

Fonte: (Epe, 2021).

2.7. ILUMINAÇÃO PÚBLICA

A norma NBR 5101 (2012) estabelece claramente que o principal objetivo da iluminação pública é fornecer luz artificial nas vias públicas durante a noite ou em

condições de baixa luminosidade diurna, quando necessário. Isso visa proporcionar um maior conforto, visibilidade e segurança ao tráfego de veículos e pedestres. Para os projetos de iluminação pública, é fundamental atender às especificações dos usuários, o que resulta em benefícios econômicos e sociais para os cidadãos (ABNT, 2012). Essas especificações incluem:

- Redução de acidentes noturnos;
- Melhoria das condições de vida, principalmente nas comunidades carentes;
- Auxílio à proteção policial, com ênfase na segurança dos indivíduos e propriedade;
- Facilidade do fluxo do tráfego;
- Destaque a edifícios e obras públicas durante à noite;
- Eficiência energética.

Portanto, a aplicação eficaz desta norma requer uma abordagem colaborativa e comprometida entre projetistas e usuários, apresenta as melhores práticas, tecnologias e abordagens técnicas disponíveis, com vistas a alcançar uma iluminação ampla, ao mesmo tempo em que se promove a eficiência energética e a utilização racional dos recursos luminosos.

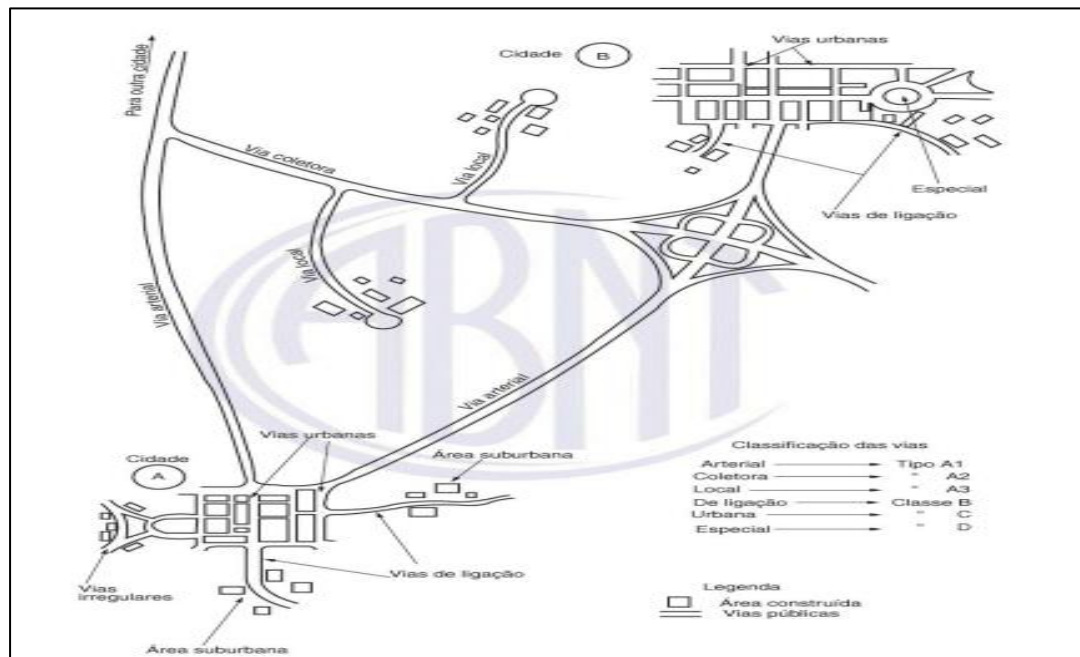
De acordo com a norma NBR 5101 (2012), o termo "estradas e vias" engloba todas as superfícies pelas quais veículos, pessoas e animais podem se deslocar, abraçando não só apenas as vias de trânsito, mas também as áreas ligadas, como calçadas, calçadões, acostamentos, ilhas e canteiros centrais. Para a categorização e classificação das estradas, é necessário seguir as diretrizes condicionais do Código de Trânsito Brasileiro, que definem os critérios e padrões para essa questão específica (ABNT, 2012), classificando-o como vias:

- Arterial;
- Coletora;
- Local;
- De ligação;
- Urbana;
- Especial.

As classificações das vias são definidas com base em uma série de critérios, incluindo a densidade populacional, o volume de tráfego e a velocidade máxima permitida para cada local, conforme é previsto no Código de Trânsito Brasileiro. Essas classificações são regulamentadas por meio de sinalização específica. A partir dessas considerações, são determinados os níveis ideais de iluminação para cada tipo de via. (ABNT, 2012)

Através da Figura 2, é apresentada uma planta baixa que ilustra a classificação das vias em questão. É importante observar que nosso projeto abrangerá ambas as categorias de estradas representadas na figura, uma vez que estamos abordando a iluminação pública rural e urbana da cidade de Água Nova-RN.

Figura 10: Classificação de vias públicas.



Fonte: (ABNT, 2012).

As recomendações de iluminação estão agrupadas em classes que variam de V1 a V5, e a escolha da classe apropriada depende de diversos fatores, tais como a função da via, a densidade de tráfego, a complexidade, a separação física entre pistas e a presença de dispositivos de controle de tráfego, como semáforos. Exemplos ilustrativos dessas classes podem ser encontrados na Tabela 2. As descrições das vias e estradas são exclusivas, de modo que possam ser interpretadas como diretrizes abrangentes para as recomendações nacionais. É importante destacar que, ao fazer a seleção da classe adequada, todos os usuários da estrada, incluindo motoristas,

motociclistas, ciclistas e pedestres, devem ser levados em consideração. (ABNT, 2012)

Tabela 2: Classe de iluminação para cada tipo de via.

Descrição da via	Classe de iluminação
Vias de trânsito rápido; vias de alta velocidade de tráfego com separação de pistas, sem cruzamentos em nível e com controle de acesso; vias de trânsito rápido em geral; geral; Autoestradas Volume de tráfego intenso Volume de tráfego médio	V1 V2
Vias arteriais: vias de alta velocidade de tráfego com separação de pistas; vias de mão dupla, com cruzamentos e travessias de pedestres eventuais em pontos bem definidos; vias rurais de mão dupla com separação por canteiro ou obstáculo Volume de tráfego intenso Volume de tráfego médio	V1 V2
Vias coletoras; vias de tráfego importante; vias radiais e urbanas de interligação entre bairros, com tráfego de pedestres elevado Volume de tráfego intenso Volume de tráfego médio Volume de tráfego leve	V2 V3 V4
Vias locais: vias de conexão menos importante, vias de acesso residencial Volume de tráfego médio Volume de tráfego leve	V4 V5

Fonte: (ABNT, 2012).

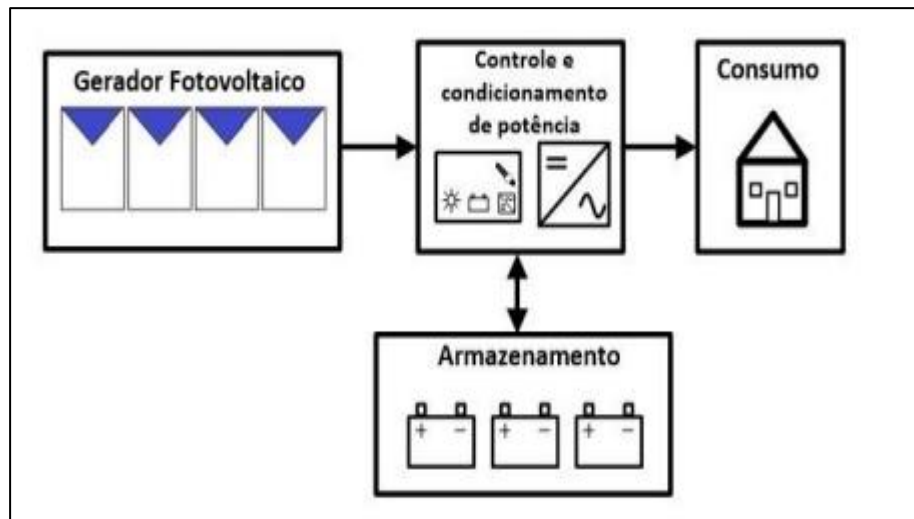
É fundamental que os projetos de iluminação pública sejam cuidadosamente adaptados às necessidades específicas de cada categoria de via, garantindo, assim, uma iluminação que seja eficiente, econômica e, acima de tudo, segura para todos os usuários. Essa abordagem personalizada garante que a iluminação atenda aos requisitos de visibilidade e segurança necessários em diferentes contextos urbanos e rodoviários.

2.8. ESTRUTURA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-GRID DE ENERGIA

O sistema fotovoltaico off-grid como também pode ser chamado de sistema autônomo, tem a necessidade de ser instalado um banco de bateria com utilidade de

armazenar energia, para suprir a necessidade no momento em que não esteja sendo gerado energia pelos fótons solares, mostrando na Figura 11 os componentes básicos de um sistema fotovoltaico Off-Grid.

Figura 11: Componentes sistema off-grid básico.

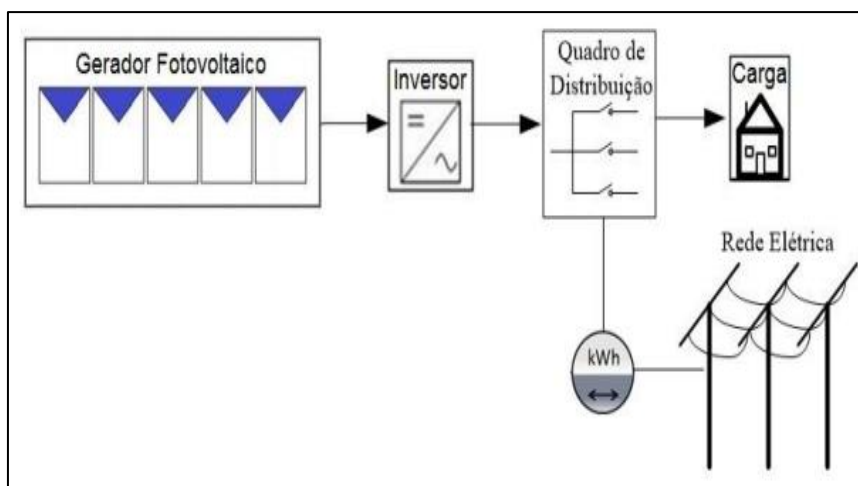


Fonte: (Pinho; Galdino, 2014).

Ao comparar a Figura anterior do sistema off-grid com a implementação de uma luminária que será implantada com um sistema fotovoltaico autônomo, pode-se descrever esse sistema da seguinte maneira: no sistema autônomo, a luminária utiliza um sistema fotovoltaico composto por um painel fotovoltaico, que converte a energia solar em energia elétrica. Esse painel atua como gerador de fotovoltaico. Além disso, há uma unidade de controle da potência responsável por gerenciar a energia gerada. Essa unidade controla o sistema de forma a evitar a sobrecarga das baterias e está conectada aos painéis fotovoltaicos.

Além dos sistemas off-grid existem os sistemas on-grid, são sistema fotovoltaico interligado à rede que opera em sincronia com a rede elétrica do fornecedor de energia, conforme é ilustrado na Figura 12. Ao contrário do sistema isolado, este tipo de sistema é utilizado em áreas já atendidas por eletricidade, com o objetivo de gerar energia para o consumo local. Isso permite a redução ou até mesmo a eliminação do consumo da rede elétrica, além da possibilidade de gerar um excedente de energia que pode ser injetado na rede de volta (Villalva, 2015).

Figura 12: Estrutura do Sistema fotovoltaico Integrado na Rede.



Fonte: (Pinho; Galdino, 2014).

A ilustração acima representa o sistema responsável de converter a luz solar em eletricidade e integrá-la à rede elétrica. Isso é alcançado por meio de dispositivos chamados inversores, que desempenham a função de transformar a corrente contínua gerada pelos painéis solares em corrente alternada, de maneira semelhante ao funcionamento de um gerador eletromagnético convencional. Essa eletricidade convertida é alimentada na rede elétrica para uso geral.

2.9. APLICAÇÕES E COMPONENTES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-GRID

O sistema fotovoltaico autônomo é projetado com o propósito de ser utilizado em áreas de difícil acesso, como residências em regiões rurais ou locais desprovidos de eletricidade. Ele oferece uma alternativa ao não uso de geradores, eliminando os incômodos associados a esses dispositivos, como o ruído e a poluição. Além disso, o sistema fotovoltaico autônomo pode ser aplicado em iluminação pública, sinalização de estradas e na alimentação de sistemas de telecomunicações. Uma das vantagens notáveis desses sistemas fotovoltaicos é que eles demandam pouca manutenção. Além disso, são silenciosos, não emitem poluentes e não dependem do abastecimento de combustíveis fósseis. Isso os torna uma opção ecologicamente amigável e econômica para suprir as necessidades de energia em locais remotos ou em situações em que a preservação do ambiente e a redução de ruídos são prioridades. (Kalogirou, 2015).

Um sistema off-grid é independente da rede de eletricidade, com a energia produzida normalmente sendo armazenada em baterias quando se deseja utilizar aparelhos elétricos nos períodos em que não há geração fotovoltaica. Um sistema autônomo típico seria composto por um ou mais módulos fotovoltaicos produzindo energia na forma de corrente e tensão contínuas, baterias, um controlador de carga para regularizar a carga da bateria e prolongar sua vida útil, podendo ser instalado um inversor para converter a corrente contínua gerada pelos módulos fotovoltaicos em corrente alternada necessária para os aparelhos normais. (Kalogirou, 2015).

- Dimensionamento do painel fotovoltaico

O dimensionamento do módulo fotovoltaico que integra o sistema de energia deve ser baseado na quantidade diária de energia necessária para atender à carga prevista. Para determinar a potência ideal do painel fotovoltaico, capaz de gerar a quantidade de energia necessária para suprir o sistema, foi usada as equações 2.1 e 2.2, conforme retirada de (Pinho; Galdino, 2014). Essas equações desempenham um papel fundamental no processo de dimensionamento do sistema fotovoltaico, fazendo com que a potência do painel seja adequadamente dimensionada para atender à quantidade necessária de energia do projeto.

$$L = \left(\frac{L_{cc}}{\eta_{bat}} \right) \quad (2.1)$$

Onde:

- L_{cc} (Wh/dia) – Quantidade de energia consumida em corrente contínua (CC) por dia;
- η_{bat} (%) – Eficiência global da bateria. Caso essa informação não esteja disponível, o valor a ser utilizado com eficiência é de 86% (Pinho; Galdino, 2014),

Com base na quantidade de energia necessária diariamente para atender a demanda da carga, a potência para painel fotovoltaico por sua vez, deve ser calculada conforme é mostrada na equação 5.2:

$$P_m = \left(\frac{L}{HPS \cdot Red_1 \cdot Red_2} \right) \quad (2.2)$$

Onde:

- P_m (Wp) – Potência do painel fotovoltaico;
- L (Wh/dia) – Quantidade de energia consumida diariamente;
- HSP (h/dia) – Horas de sol pleno conforme a inclinação do painel fotovoltaico;
- Red_1 (%) – Fator de redução (derating) da potência do módulo fotovoltaico. Para módulos fotovoltaicos de c-Si utiliza-se o valor de 0,85, (Pinho; Galdino, 2014);
- Red_2 (%) – Fator de derating da potência devido a perdas no sistema. Como valor padrão utiliza 0,9, (Pinho; Galdino, 2014).

Para complementar o dimensionamento das placas fotovoltaicas, é importante destacar a influência do ângulo de inclinação mencionado no item 2.4 do projeto. A relação entre esses dois aspectos é fundamental, pois o ângulo de inclinação ideal desempenha um papel fundamental na otimização e na captação de luz solar pelas placas fotovoltaicas, tendo a máxima eficiência na produção de energia de um sistema solar. Enquanto um ângulo de inclinação inadequado pode resultar em uma produção de energia abaixo do potencial, mesmo que o dimensionamento das placas fotovoltaica esteja completamente correto. Portanto, o dimensionamento adequado das placas deve ser complementado pelo ajuste do ângulo de inclinação para garantir assim a máxima geração de eletricidade a partir da energia solar disponível no local.

2.9.1. Bateria

As baterias desempenham um papel fundamental nos sistemas fotovoltaicos off-grid. Isso ocorre porque a geração e o consumo de energia nem sempre estão alinhados com a disponibilidade de radiação solar, que varia ao longo das horas, minutos e segundos. Portanto, é essencial garantir um fornecimento contínuo de energia e evitar o desperdício, armazenando-a para uso posterior, principalmente durante a noite, em dias nublados e chuvosos. Numa parte dos sistemas fotovoltaicos autônomos, é necessário implantar um banco de baterias. Isso tem a finalidade de estabilizar a tensão fornecida aos equipamentos ou ao inversor eletrônico, uma vez

que a tensão de saída dos módulos fotovoltaicos não é constante e pode variar. As baterias atuam como um elo entre os módulos e o sistema, assegurando uma tensão de trabalho constante e permitindo que a energia seja armazenada quando estiver disponível em excesso e liberada quando a demanda for maior. Esse recurso é crucial para garantir a confiabilidade e a continuidade da energia fornecida por sistemas fotovoltaicos independentes. (Villalva, 2015).

- Baterias para o sistema fotovoltaico Off-Grid

De acordo Kalogirou (2015) aponta que as baterias a serem utilizadas em um sistema fotovoltaico autônomo, será necessário aceitar carga e descarga profunda e repetitiva sem danos, onde as mais conhecidas e utilizadas são as baterias de chumbo-ácido e baterias estacionárias.

“Todas as baterias de ciclo profundo são projetadas para suportar um número maior de ciclos de carga e descarga, além de poderem descarregar-se mais do que as convencionais”, com pouca manutenção. As baterias de chumbo-ácido reguladas por válvula (VRLA), mostrada na Figura 12, é considerada uma bateria de ciclo profundo, enquanto isso as baterias automotivas não podem descarregar mais do que 20%, as de ciclo profundo podem descarregar-se até 50% ou 80% sem perder sua capacidade de recarga, essas especificações devem ser explícitas no catálogo do fabricante. Já foram desenvolvidas bateria que permite uma descarga ainda mais profundas que são as baterias de NiCD, NiMH e VRLA, que podem descarregar-se até 90% sem comprometer sua vida útil podendo suporta um número de ciclo maior do que as baterias de eletrólito líquido (Villalva, 2015, p. 105).

Figura 13: Bateria de chumbo-ácido reguladas por válvula (VRLA).



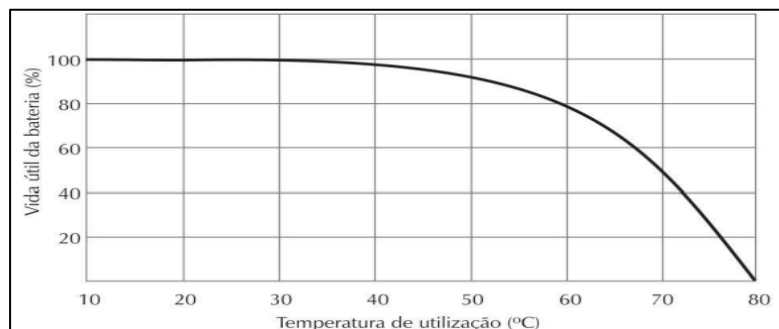
Fonte: (BAE SECURA).

- Vida útil da bateria

A vida útil de uma bateria é permanentemente reduzida pelo seu envelhecimento ou número de ciclos de carga e descarga que ela pode ser realizada (Villalva, 2015).

A determinação que pode contribuir com o aumento da vida útil da bateria são a manutenção do estado de carga, no caso de baterias de chumbo-ácido são através do procedimento da flutuação (manutenção da carga quando não está em uso), trabalha no ambiente com a temperatura controlada e a utilização do controlador. Como a temperatura favorece para que o tempo da vida útil da bateria possa ser reduzido drasticamente, mostramos na Figura 13, que a temperatura em 40 °C a bateria tem sua vida normal de até 100%, logo acima de 40 °C a vida útil tende a diminuir, (Villalva, 2015, p. 106).

Figura 14: Vida útil de uma bateria em função da temperatura.



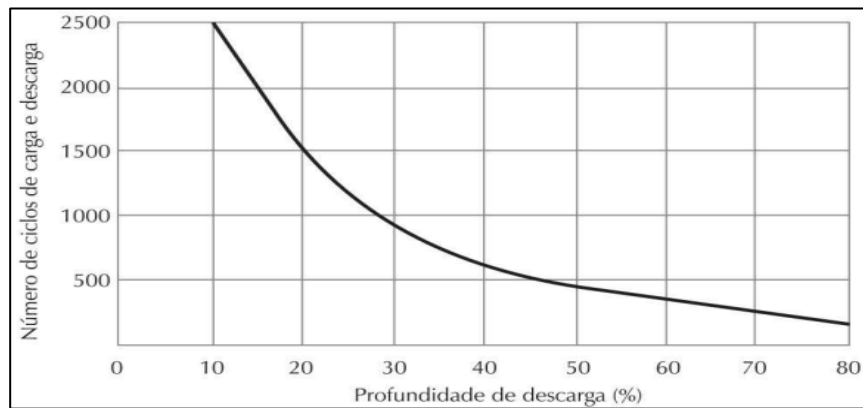
Fonte: (Villalva, 2015).

A relação entre a vida útil de uma bateria, em número de ciclos de carga e descarga, e sua profundidade de descarga, mostrada na Figura 14 que se a bateria for descarregada levemente ela contará com uma vida útil maior, podendo ser carregada e descarregada com mais frequência de vezes, podendo ver que se a bateria for descarregada até próximo de se esgotar sua carga, com profundidade de descarga elevada a mais de 80%, o número de ciclos possíveis será reduzido drasticamente fazendo com que o tempo de vida útil da bateria seja muito pequeno, sendo relacionada à profundidade de descarga da seguinte forma:

- 2500 ciclos: descarga de 10%;
- 1500 ciclos: descarga de 20%;
- 500 ciclos: descarga de 50%.

A profundidade de descarga da bateria é apresentada através da porcentagem da carga que é subtraída ao longo de um ciclo de uso (Villalva, 2015).

Figura 15: Número de ciclos de carga e descarga de uma bateria em profundidade.



Fonte: (Vilalva, 2015).

O dimensionamento adequado do sistema, levando em consideração a capacidade das baterias e a frequência das profundidades de descarga, desempenha um papel importante na otimização do ciclo de vida das baterias em um sistema fotovoltaico. Isso permite que as baterias sejam usadas de maneira eficiente e duradoura, o que é essencial para maximizar o desempenho e a confiabilidade do sistema (Villalva, 2015).

- Dimensionamento das baterias

O dimensionamento das baterias deve ser realizado de acordo com a quantidade de energia consumida pelo sistema. As baterias desempenham o papel essencial de acumular a carga necessária para suprir toda a energia demandada durante dias com pouca luz solar, como em condições nubladas, chuvosas, e também durante a noite. Para garantir o funcionamento adequado do sistema, é essencial que o tamanho das baterias seja dimensionado de forma segura que haja energia suficiente para alimentar todas as necessidades energéticas do sistema de iluminação pública ou qualquer que seja sua determinação. Isso é realizado por meio do método apresentado na equação 2.3, conforme descrito em (Pinho; Galdino, 2014), que auxilia no dimensionamento adequado das baterias.

$$CBI_{C20} (Ah) = \frac{\frac{L \cdot N}{Pd}}{V_{sistema}} \quad (2.3)$$

Onde:

- CBI_{C20} – É a capacidade do banco de baterias em Ah para o regime de descarga em 20 horas (C20);
- L – Quantidade de energia consumida diariamente;
- N – Número de dias em autonomia, (o qual varia em função de onde se instala o sistema), tipicamente varia entre 2 e 4 dias. (Pinho; Galdino, 2014);
- Pd – Profundidade máxima da descarga da bateria, considerando o período de autonomia, o valor típico de profundidade de descarga pode variar de 20% e 40% para ciclo raso e 50% a 80% para ciclos profundo, (Pinho; Galdino, 2014);
- $V_{sistema}$ – É a tensão em corrente contínua do sistema.

É importante ressaltar que o dimensionamento das baterias deve levar em consideração não apenas a demanda energética atual, mas também prever a capacidade de armazenamento necessária para períodos em que a geração de energia solar não seja suficiente para suprir as necessidades. Dessa forma, as baterias desempenham um papel crítico na manutenção do fornecimento contínuo de energia, contribuindo para a confiança do sistema de iluminação pública com energia solar.

2.9.2. Controlador de Carga e Suas Funções

Nos sistemas fotovoltaicos autônomos que estão conectados a baterias, a instalação de um controlador ou regulador de carga é um requisito essencial. Como ilustrado na Figura 15, o controlador de carga desempenha um papel crucial na gestão da conexão entre o painel fotovoltaico e a bateria, com a finalidade de evitar a sobrecarga ou descarga excessiva da bateria com frequência. Alguns controladores de carga são projetados para carregar a bateria de acordo com seu perfil de carga específico. Isso significa que eles ajustam o processo de carregamento de acordo com as necessidades da bateria, o que contribui para aumentar sua vida útil e maximizar sua utilização (Villalva, 2015).

Figura 16: Controlador de carga para sistema fotovoltaico.



Fonte: (Neo Solar, 2023).

Villalva (2015) mostra que o controlador de carga tem um objetivo muito importante, de proteger as baterias, impedindo as de carga e descarga excessivas, aumentando sua vida útil. As baterias de chumbo ácido têm a sua carga completa quando a bateria chega em uma tensão entre 14,4 V e 15,5 V. O controlador de carga tem a responsabilidade de monitorar esses valores da tensão quando se chega nos terminais das baterias e corta a corrente, através de um dispositivo de estado sólido ou um relé eletromecânico para que a bateria não continue sendo carregada ao atingir a tensão de sua carga, evitando assim a sobrecarga, desconectando o painel solar do sistema quando a bateria consegue o seu nível máximo de carga. Dessa forma, quando as baterias estão completamente carregadas, o controlador age como um desvio para a corrente gerada pelos painéis solares. Nesse processo, apenas uma pequena parcela da corrente continua a fluir para as baterias, enquanto a porção excedente de energia, que não é mais necessária para a carga da bateria, é dissipada na forma de calor nos painéis fotovoltaicos. Importante notar que os painéis solares são projetados para suportar correntes de curto-circuito sem nem um problema.

O controlador de carga também trabalha na função de proteção por descarga excessiva, podendo ser chamada de função de desconexão em baixa tensão, é onde o controlador faz com que o consumo de energia seja interrompido quando a bateria chega em seu nível crítico de descarga, esse nível ocorre geralmente quando a tensão da bateria está muito baixa, aproximadamente de 10,5 V, esse valor direcionada as baterias de chumbos ácidos, caso essas baterias sejam descarregadas com frequência abaixo desta tensão, sua vida útil irá severamente ser comprometida (Villalva, 2015).

- Dimensionamento do controlador de carga

O dimensionamento do controlador de carga deve considerar os limites máximos do controlador, independentemente de ele ser (Pulse Width Modulation - modulação de largura de pulso PWM) ou (Maximum Power Point Tracking - rastreamento do ponto de máxima potência MPPT), em relação à tensão e corrente contínua do sistema, tanto na entrada do painel fotovoltaico quanto nas saídas para as baterias. O método apresentado por (Pinho; Galdino, 2014) pode ser utilizado para o dimensionamento do controlador PWM, conforme indicado na equação 2.4 a seguir. Este processo nos garante que o controlador seja dimensionado de forma correta, atendendo às especificações e limitações do sistema fotovoltaico:

$$I_c = 1,25 \cdot N^\circ \text{ modulo} - \text{paralelo} \cdot I_{sc} \quad (2.4)$$

Onde:

- I_c – Corrente máxima do controlador;
- 1,25 – Fator de segurança, onde se considera que a bateria tem que ser carregada com uma tensão 20 % que a sua tensão nominal, (Pinho; Galdino, 2014);
- Números de módulos em paralelo;
- I_{sc} – corrente de curto e circuito do painel.

Após a análise detalhada desses elementos, foi determinado que o controlador de carga necessário para o sistema deve ser capaz de lidar com a corrente de carga adequada, de acordo com a capacidade da bateria e a geração solar. Isso garante um carregamento eficiente da bateria durante o dia e a proteção contra sobrecarga ou descarga excessiva.

2.10. TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA BRASILEIRA

A tarifa de energia elétrica corresponde ao custo da eletricidade consumida, sendo cobrada pela distribuidora local de energia. Essa cobrança é essencial para remunerar adequadamente os serviços prestados e sustentar as infraestruturas necessárias para manter a qualidade do fornecimento de energia. A definição das tarifas é uma responsabilidade da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que

atua em conformidade com as leis e os contratos de concessão estabelecidos com as empresas distribuidoras em diferentes regiões do país (Aneel, 2022).

Para determinar o valor das tarifas no setor elétrico, foram desenvolvidas metodologias específicas que abrangem diversas etapas, incluindo geração de energia, transmissão, distribuição e comercialização. Além disso, são aplicados diferentes tributos governamentais, como PIS/COFINS, ICMS e Contribuição para Iluminação Pública (CIP). Esses tributos são calculados com base na quantidade de energia elétrica consumida no mês, medida em quilowatt-hora (R\$/kWh). Como resultado, os consumidores recebem uma fatura mensal que reflete tanto o uso real de eletricidade quanto os custos associados à prestação desse serviço essencial (Aneel, 2022).

2.10.1. Classes e Subclasse de Consumo

As classes de consumo de energia elétrica foram definidas pela Resolução Normativa ANEEL nº 414, de 2010, que agrupa consumidores de eletricidade com características semelhantes em termos de perfil de consumo, demanda de energia, padrões de uso e necessidades específicas. A categorização em classes de consumo permite às concessionárias de energia elétrica e órgãos reguladores estabelecer tarifas e políticas de fornecimento de eletricidade adequadas a cada categoria de consumidor (Aneel, 2022). A seguir, estão as principais classes de consumo de energia elétrica e suas respectivas subclasses:

- Residencial;
- Industrial;
- Comercial, Serviços e Outras atividades;
- Rural;
- Poder Público;
- Iluminação Pública;
- Serviço Público;
- Consumo Próprio;
- Estrutura Tarifária

Diante dessas classes e subclasses de consumo são apresentada uma diferenciação adequada nas tarifas e nas políticas de fornecimento de eletricidade,

procurando atender às necessidades específicas de cada categoria de consumidor e garantindo a eficiência na gestão e distribuição da energia elétrica.

- Tarifa de grupo A

O Grupo A de energia engloba as tarifas que atendem as unidades consumidoras de alta tensão de energia elétrica. Os consumidores do Grupo A possuem características de consumo de energia mais complexas devido às suas demandas e operações específicas, com a tensão de fornecimento variando de 2,3 kV a 230 kV, essa categoria tarifária abrange os seguintes subgrupos:

- Grupo A1: tensão de 230kV ou mais;
- Grupo A2: tensão de 88 a 138kV;
- Grupo A3: tensão de 69kV;
- Grupo A3a: tensão de 30 a 44kV;
- Grupo A4: tensão de 2,3 a 25kV;
- Subgrupo AS: sistema subterrâneo.

Esses subgrupos são definidos com base na demanda contratada de energia elétrica, a qual varia de acordo com as características de cada subgrupo, conforme mencionado anteriormente. Essas categorias são estabelecidas e regulamentadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e desempenham um papel fundamental na determinação das tarifas, nas condições de fornecimento e nas regulamentações aplicáveis a cada tipo de consumidor de alta tensão. No Grupo A, existem diferentes modalidades de tarifas de acordo com o fornecimento, incluindo o fornecimento convencional, tarifas horo-sazonais azuis e tarifas horo-sazonais verdes. A modalidade de tarifa horo-sazonal azul oferece tarifas diferenciadas para o consumo de energia elétrica e a demanda de potência, com base nas horas de utilização do dia, essa modalidade está disponível para todos os subgrupos do Grupo A. Já a modalidade de tarifa horo-sazonal verde oferece tarifas diferenciadas para o consumo de energia elétrica, também com base nas horas de utilização do dia, mas possui uma única tarifa de demanda de potência, estando disponível na modalidade para os subgrupos A3a, A4 e AS (Aneel, 2022).

- Tarifa de grupo B

O Grupo B de energia elétrica é uma classificação de tarifa que engloba as unidades consumidoras de baixa tensão, ou seja, aquelas que recebem energia elétrica em tensões mais baixas, como 110V, 220V ou 380V, dependendo das instalações elétricas. Dentro do Grupo B, existem diversos subgrupos que se aplicam a diferentes tipos de consumidores e situações. Alguns exemplos comuns de subgrupos de baixa tensão:

- B1- Residencial: referente ao consumidor residencial e residencial baixa renda;
- B2 - Rural: referente ao consumidor de área rural, incluindo diversas outras subclasses como agropecuária, indústria e rural;
- B3 - Demais Classes: Classes comercial, industrial, poder público, serviço público e consumo próprio;
- B4 - Iluminação Pública: Classe iluminação pública. A classe B4 divide-se em dois subgrupos: B4a e B4b. O B4a é utilizado quando a manutenção do sistema ocorre a cargo das prefeituras. E o B4b quando a responsabilidade pela manutenção do sistema de iluminação pública cabe a distribuidora.

Para cada um dos subgrupos mencionados anteriormente, existem características de tarifas específicas, regras de fornecimento e regulamentações próprias. No grupo B, destacam-se duas modalidades de tarifas: a tarifa convencional monômnia e a tarifa horária branca. A tarifa convencional monômnia é uma tarifa única de consumo de energia elétrica, com cálculos mais simples, independente das demandas de potência ou das horas de utilização no dia. Por outro lado, a tarifa horária branca é uma modalidade de tarifa diferenciada de consumo de energia elétrica, que varia de acordo com as horas de utilização do dia. Esta tarifa visa incentivar os consumidores a reduzirem o consumo nos horários de pico e promover a eficiência energética. No entanto, ela não está disponível para o subgrupo B4 de Iluminação pública e para a subclasse baixa renda do subgrupo B1 (Aneel, 2022).

2.11. VIABILIDADE ECONÔMICA E FINANCEIRA DO PROJETO

Existem vários métodos disponíveis para avaliar a forma de investimento de uma empresa, sendo os mais conhecidos o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Payback. A seguir, apresentaremos uma descrição de como esses métodos funcionam.

2.11.1. Valor Presente Líquido – VPL

David, (2013), afirma que o Valor Presente Líquido (VPL) é amplamente reconhecido e referido na maioria da literatura financeira como um dos métodos mais convencionais e eficazes para avaliar projetos de investimento. Considerando que o valor Presente Líquido (“VPL”), é o valor ganho no projeto, levando em conta a saída inicial e as subsequente entradas de caixa. Para calcular o valor do VPL usamos a equação 2.5 a seguir:

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{VF_j}{(1+i)^j} - VF_0 \quad (2.5)$$

Onde:

- VF_j - os valores de entrada ou saída do caixa em cada período de tempo;
- VF_0 - Valor do investimento inicial;
- J - Períodos de tempo;
- i - Taxa de desconto do projeto.

O objetivo deste procedimento é determinar o resultado final de um projeto considerando uma taxa de custo apropriada. Em muitos casos, ao avaliar projetos de investimento de capital, o Fluxo de Caixa inicial inclui um investimento necessário para tornar o projeto viável, e a partir desse ponto, os eventos subsequentes do Fluxo de Caixa são analisados em condições atuais, começando a partir do "Ano 0". Nesse estágio, são calculados os Valores Presentes de todas as entradas e saídas de valores, e a soma algébrica desses fluxos revela o resultado final do projeto. Se esse resultado for positivo, o projeto é considerado financeiramente viável; caso contrário, não é (Hastings, David F, 2013).

2.11.2. Taxa Interna de Retorno – TIR

A taxa interna de retorno, conhecida como (TIR), é o ponto mais próximo que se pode chegar ao (VPL). O raciocínio básico por trás do método da (TIR) é fornecido em um único número resumindo os méritos de um projeto. Podemos dizer que TIR é a taxa que faz com que o VPL do projeto seja zero, fazendo com que o projeto possa se encontrar num ponto de equilíbrio (Ross, S. A., Westerfield, R. W., & Jaffe, J. et al. (2015). Para calcular o valor de (TIR) utilizamos a equação 2.6 a seguir:

$$VF_0 = \sum_{j=1}^n \frac{VF_j}{(1+TRI)^j} \quad (2.6)$$

Onde:

- VF_j - os valores de entrada ou saída do caixa em cada período de tempo;
- VF_0 - Valor do investimento inicial;
- J - Períodos de tempo;
- TIR - Taxa de Interno de Retorno do projeto.

Nesse contexto, a Taxa Interna de Retorno (TIR) assume um papel fundamental. Ela representa a taxa de juros na qual os fluxos de caixa gerados pelo projeto se igualam ao valor presente dos gastos. A TIR é uma medida amplamente utilizada em análises de orçamento de capital e desempenha um papel fundamental na tomada de decisões sobre a viabilidade financeira de um projeto. Portanto, é consideradamente usada como um indicador-chave para avaliar se um projeto deve ser aceito ou rejeitado com base na taxa de retorno que ele oferece em relação à taxa de desconto apropriada (Ross, S. A., Westerfield, R. W., & Jaffe, J. et al. (2015).

2.11.3. Payback

O método do "Payback" é uma abordagem para avaliar a qualidade de um investimento ou empréstimo, onde se estima o período de tempo necessário para recuperar o investimento inicial. Ele fornece uma visão do tempo que levará para que

o fluxo de caixa gerado pelo investimento compense totalmente o montante inicialmente investido, atingindo o ponto em que todas as entradas de dinheiro se igualam às saídas. Em outras palavras, o "Payback" revela o tempo necessário para zerar o investimento original (Alves, A., Mattos, J. G., & Azevedo, I.S. S. (2017).

Levando em consideração a necessidade de calcular o período para recuperar o valor do investimento, o qual será apresentado por meio do período estimado de "payback," esse cálculo será apresentado mediante a equação 2.7 a seguir:

$$\text{Payback} = \frac{\text{Investimento}}{\text{Retorno no período}} \quad (2.7)$$

2.12. ÁREA PÚBLICA ONDE SERÁ IMPLANTADA O PROJETO

Após a classificação das estradas e rodovias, a Figura 16 apresenta a forma que será implementado o projeto diante dos postes. Este projeto abrangerá a zona urbana e rural da cidade de Água Nova-RN, englobando as áreas destinadas à iluminação pública.

Figura 17: localização e projeção do projeto.



Fonte: Autoria própria (2023).

Diante da figura anterior, é observado cuidadosamente a localização e as projeções detalhadas para iniciativa da implementação do projeto de iluminação pública sustentável, alimentada pelo sistema fotovoltaico off-grid. Cada passo do projeto foi guiado em busca da alta sustentabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

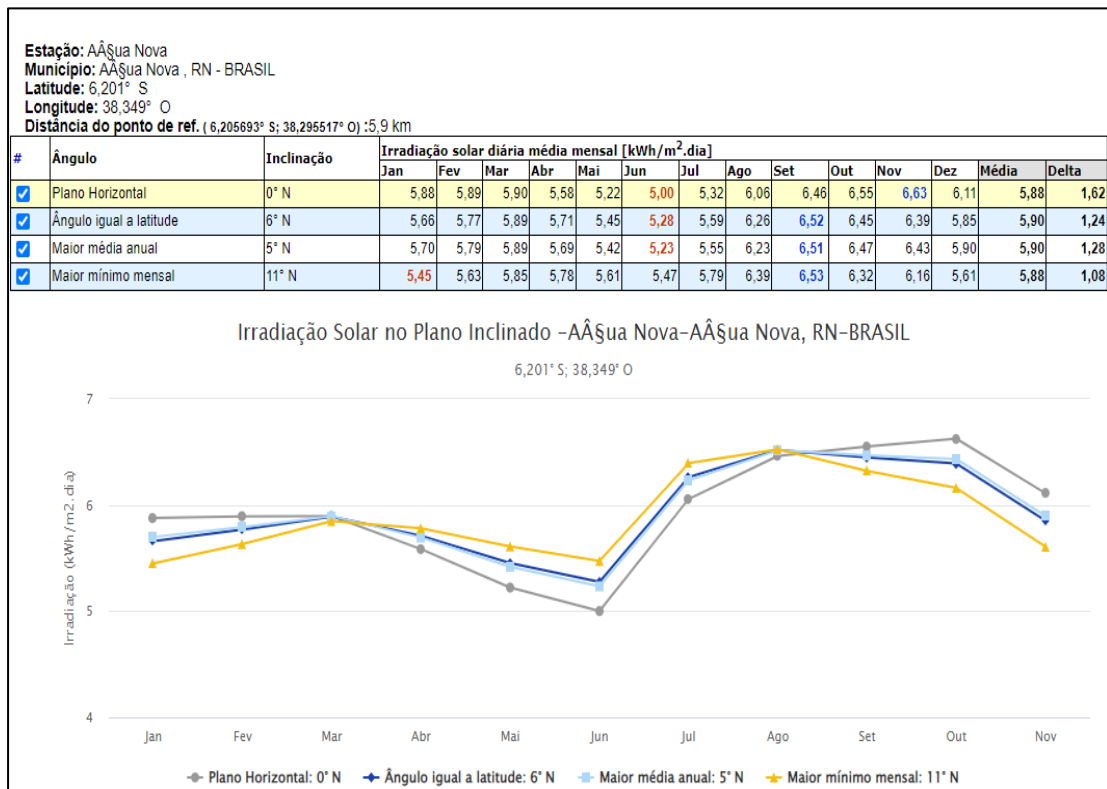
3.1. NÍVEL DE RADIAÇÃO SOLAR EM ÁGUA NOVA-RN

A radiação solar na cidade de Água Nova-RN, assim como em qualquer outra região, pode variar ao longo do ano e depende dos fatores climáticos e as condições específicas que influenciar nos níveis de irradiação solar local. O Rio Grande do Norte é conhecido por ter um clima predominantemente ensolarado e ser um dos estados brasileiros com maior potencial para a geração de energia solar. A região é favorecida pela sua localização próxima à linha do Equador, o que proporciona uma incidência solar mais intensa ao longo do ano.

Para determinar os níveis de radiação solar, é essencial ter informações precisas sobre as coordenadas geográficas da localização desejada. Na Figura 17, apresentamos os dados de radiação solar para a cidade de Água Nova-RN, obtido através do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (CREESEB). O CREESEB oferece informações validadas por meio do programa Sundata exibindo as médias diária, mensais e anuais de irradiação solar. Para se ter com precisão as coordenadas geográficas da cidade, utilizamos o Google Maps, identificando as coordenadas de 6.205 para latitude e 38.29 para longitude. Essas informações são de suma importância para o dimensionamento adequado do sistema fotovoltaico.

Ao inserir essas coordenadas no programa Sundata para a cidade de Água Nova-RN, podemos observar que a média anual de irradiação solar na região é de aproximadamente 5,90 kWh/m². dia, conforme ilustrado na Figura 17.

Figura 18: Média de irradiação solar na cidade de Água Nova-RN



Fonte: (Sundata do CRESESB, 2014)

3.2. SISTEMA OFF-GRID PROPOSTO PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Este estudo aborda a viabilidade de implementar na iluminação pública da cidade de Água Nova-RN, um sistema fotovoltaico off-grid. O objetivo é tornar a iluminação pública nessa localidade 100% renovável, onde toda a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos será armazenada em baterias e controlada de forma que durante a noite seja capaz de suprir toda a demanda da carga utilizada. Isso assegura a quantidade de energia necessária para um desempenho adequado das lâmpadas.

Além disso, o estudo apresenta a média de gastos e consumo de energia em quilowatts-hora (KWh) das lâmpadas a vapor de sódio no município ao longo de três anos. Ao final do projeto, foi calculado o payback, ou seja, o período de tempo necessário para que todo o investimento no sistema seja recuperado.

A escolha da luminária nesse projeto é de grande importância, então foi direcionado a substituição das lâmpadas de vapor de sódio por lâmpadas em LED, pelo fato de a luminária apontar um bom desempenho na sua luminosidade, além do mais sendo essencial para manter o foco em um sistema mais renovável, pois essas

lâmpadas a vapor de sódio ao ser descartada podem-se quebrar e emitir um produto tóxico como sódio, mercúrio e xenônio vindo a contaminar o meio ambiente. Já luminárias em LED são de temperatura frias com alta eficiência luminosa, apresentando em alguns modelos sua vida útil de até 50.000 horas de funcionamento, podendo chegar a um consumo de 50% menor de energia do que as luminárias a vapor de sódio, melhorando-se as questões socioambiental (Stocko *et al.*, 2013).

As lâmpadas de vapor de sódio e as luminárias de LED apresentam diferenças significativas nas características de emissão de luz, resultando em valores diferentes de lúmens, que são a unidade de medida do fluxo luminoso. As lâmpadas de vapor de sódio tendem a ter cerca de 4 a 5 vezes mais lúmens (lm) em comparação com as lâmpadas de LED, numericamente falando. No entanto, é importante destacar que o desempenho da iluminação fornecida pelas luminárias de LED é igual ou até superior ao das lâmpadas de vapor de sódio, como demonstrado em um estudo conduzido pelo departamento de energia dos Estados Unidos, em 2008. Essa comparação nos valores de lúmens ocorre devido à sensibilidade humana aos diferentes comprimentos de onda de luz emitidos por cada tipo de luminária. Portanto, embora as lâmpadas de vapor de sódio possam ter uma classificação mais alta em termos de lúmens, a qualidade e a eficiência da iluminação fornecida pelas luminárias de LED são superiores, atendendo melhor às necessidades de iluminação modernas. (R3 Técnica, 2014).

- Funcionamento do projeto de iluminação no sistema off- grid

Dessa forma, será apresentado um estudo do local referente onde o possível projeto será instalado, com vista a analisar se é viável a instalação deste sistema fotovoltaico off-grid para iluminação pública da cidade de Água Nova-RN. Foram verificadas a média mensal e anual da radiação solar recebida pela cidade, através do site do CRESESB e do programa Sundata, sendo informado as coordenadas geográficas local (latitude e longitude), teve como resultado a irradiação medida em kWh/m² obtida através do plano horizontal, que corresponde a média diária de cada mês durante todo o ano.

O dimensionamento do sistema é feito através dos cálculos da geração de carga que será utilizada, em seguida escolher os módulos fotovoltaico, controlador e bateria referentes a carga dimensionada.

A partir dos resultados informados, vai ser calculado a viabilidade econômica e financeira do projeto, como são o Playback, o Valor Presente Líquido e a Taxa Interna de Retorno, como também será utilizado as normas da NBR 5102 para definir o tipo de ruas e vias onde o projeto atenderá. Trazendo o resultado da viabilidade e mostrando para o cliente se ele vai ser viável ou não, em caso positivo, apresentar o período de tempo em que o sistema terá resultado.

3.3. ESTIMATIVA DE GASTO E CONSUMO DE ENERGIA NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA DA CIDADE DE ÁGUA NOVA-RN

Foi realizado um levantamento de dados referentes ao consumo de energia das lâmpadas de vapor de sódio atualmente em uso na iluminação pública da cidade de Água Nova-RN. Esse levantamento forneceu informações sobre o gasto médio mensal e o consumo de energia em quilowatts-hora (kWh) durante os anos de 2020, 2021 e 2022. Através da prefeitura local, conseguiu-se coletar os dados necessários para emitir e determinar o consumo de energia elétrica das lâmpadas de vapor de sódio, como ilustrado na Tabela 4.

Tabela 3: Media estimada de gasto e consumo em KWh de energia elétrica pela iluminação pública no período de 2020 a 2022.

Anos	2020	2021	2022	Media
Potência da luminária em (W)	70	70	70	70
Medida KWh mensal para zona rural	6.483 KWH	6.439 KWH	6.331 KWH	6.431 KWH
Media de gasto mensal para zona rural	R\$ 3.438,42	R\$ 3.216,78	R\$ 3.216,92	R\$ 3.216,85
Media KWh mensal para zona urbana	8.659 KWH	10.253 KWH	8.262 KWH	9.058 KWH
Media KWh mensal para zona urbana	R\$ 4.842,29	R\$ 5.538,60	R\$ 4.655,49	R\$ 4.901,99

Fonte: Autoria própria (2023).

3.4. ESPECIFICAÇÕES DA LUMINÁRIA A SER UTILIZADA

Conforme estabelecido na norma NBR 5101, a seleção das vias e estradas para a implantação do projeto foi baseada nos parâmetros apresentados na Figura 10 e da Tabela 2. Com base nas condições levantadas, foi escolhida a lâmpada que atende aos critérios estabelecidos pela NBR 5101, nas classificações de iluminação V2, V3 e V4. Essas classificações englobam vias de tráfego importante, vias radicais e interligações urbanas entre bairros, com elevado no tráfego de pedestres (ABNT, 2012).

A norma brasileira que regulamenta a iluminação pública destaca a luminária como seu principal item. Portanto, a lâmpada selecionada para o projeto é uma lâmpada LED de 50W, com tensão de 12 Volts e corrente contínua, disponível no site da Laydne. Essa lâmpada oferece um fluxo luminoso maior do que as lâmpadas de vapor de sódio de 70W atualmente utilizadas na iluminação. A Figura 19 apresenta todas as especificações da luminária escolhida.

Figura 19: Especificação da lâmpada

LUMINÁRIA LED		
 foto meramente ilustrativa	Fonte de LED: Led SMD	Tamanho: 40,0 x 10,0 x 18,0 cm
	Potência Nominal: 50W	Vida Útil: 50 000 h
	Fluxo Luminoso: 5 000 lm	Fator de proteção de conj. ótico: IP 65
	Temperatura de Cor: 4000 K	Temperatura de utilização: 40 a 70°C
	Angulo de abertura: 135°75	IRC (índice de reprodução de cor): >80
	Fator de potência: >0.96	Peso aproximadamente: 0,950 kg

Fonte: (laydne, 2023)

Após apresentar todas as especificações da luminária, é importante aprofundar um pouco mais sobre os LEDs que compõem a luminária escolhida. Os LEDs selecionados para esta luminária são da fabricação SMD e mostra uma característica notável, eles proporcionam uma luminosidade maior em comparação com os LEDs tradicionais, por conta da otimização de sua superfície. Esses LEDs possuem um fecho de luz que se espalha em todas as direções, formando um módulo de iluminação com as seguintes características distintas:

- Ângulo de abertura de até 360° graus;
- Ideal para iluminação pública devido à sua ampla difusão de luz.

Essas características fazem dos LEDs SMD que eles sejam uma escolha eficaz para a iluminação pública, garantindo uma distribuição uniforme da luz e um desempenho luminoso superior. (Henrique Mattede, 2023).

3.5. CÁLCULO PARA POTÊNCIA DO PAINEL FOTOVOLTAICO

Para calcular a potência necessária do painel fotovoltaico que alimentará a luminária, utilizamos as equações 2.1 e 2.2, levando em consideração os seguintes dados para dimensionamento:

- Consumo de 550 Wh, devido à luminária permanecer ligada durante 11 horas à noite;
- Horas equivalentes de sol pleno, totalizando 5,90 kWh/m². dia, conforme obtido na Figura 19;
- Red1 = 0,85 e Red2 = 0,90.

Com base nesses parâmetros, foi determinado que a potência do painel fotovoltaico necessária é de **146,12 Wp**. No entanto, devido à disponibilidade comercial, optou-se por escolher um painel fotovoltaico disponível no site neosolar com uma potência integral de **155 Wp**. Esse painel é fabricado pela **Resun**, modelo **RS6E-155M**, e possui uma eficiência de **18,05%**, como pode ser verificado nas especificações detalhadas no anexo A. Essa escolha visa garantir um desempenho eficiente e confiável para o sistema de iluminação pública.

3.6. CÁLCULO PARA CAPACIDADE DA BATERIA

Após apresentar a potência da luminária, que é de 500 Watts, e estimar o seu tempo de uso em 11 horas, é necessário calcular o dimensionamento em Ampère-hora (Ah) da bateria. Isso pode ser feito por meio da equação 2.3, levando em consideração uma profundidade de descarga da bateria de 80% e uma autonomia de 2 dias, uma vez que a região apresenta um bom índice de radiação solar. A tensão utilizada para alimentar a luminária é de 12 Volts.

Com base nos cálculos realizados, determinamos que a capacidade da bateria necessária é de **114,58 Ah**. Nesse contexto, propomos a instalação de baterias de chumbo-ácido reguladas por válvula (VRLA), que podem ser adquiridas no site

"Battery Central Brisbane" e são comercializadas pela BAE Secura PVV Block Solar. Mais detalhes técnicos sobre a bateria selecionada podem ser encontrados no Anexo B abaixo. A bateria escolhida possui uma tensão de **12 volts** e uma capacidade de **137 Ah**, o que a torna adequada para suprir a demanda da luminária com eficiência.

3.7. CÁLCULO PARA O CONTROLADOR DE CARGA

Para calcular a corrente de carga do controlador, utilizamos a equação 2.4, levando em consideração as características e o modelo de um controlador PWM. Começamos usando a corrente de curto-circuito do painel fotovoltaico, $I_{sc} = 11,07 \text{ A}$.

Portanto, a corrente de carga necessária para o controlador é de **11,02 A**. Optamos por um controlador com capacidade de **20 A e tensão de 12 a 24V**, de acordo com a disponibilidade comercial. Encontramos este controlador no site Neosolar, da marca **Epever**, modelo **Landstar LS2024E**, suas especificações técnicas podem ser encontradas no Anexo C abaixo.

3.8. ESTIMATIVA DO CUSTO DE IMPLEMENTAR O PROJETO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-GRID

Com base nos dados coletados e no sistema de geração calculado, estimaram-se os custos inicial necessários para a implementação do projeto do sistema fotovoltaico off-grid, incluindo a substituição das 334 lâmpadas de vapor de sódio. A Tabela 5 a seguir apresenta o custo de implementação do projeto.

Tabela 4: custo inicial para implantação do projeto fotovoltaico Off-Grid.

Item	Material	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
334	Painel Fotovoltaico	360,00	120.240,00
334	Bateria Chumbo-ácido	253,00	84.502,00
334	Luminária	353,00	117.902,00
334	Controlador de carga	149,00	49.766,00
334	Relé Fotocélula	40,72	13.600,00
334	Braço de sustentação da luminária	28,90	9.652,00
334	Mão de Obra	30,00	10.020,00
334	Cabo PP flexível	5,25	1.753,00
Custo Total do Orçamento (R\$)			407.435,00

Fonte: Autoria própria (2023).

Avaliou-se detalhadamente o custo estimado do projeto, considerando cada componente necessário do sistema. Em uma das abordagens mais conservadoras, definiu-se um projeto com durabilidade de 10 anos, que correspondente à garantia de fábrica dos painéis fotovoltaicos. Para os demais elementos do projeto, planejamos a substituição ao final de suas respectivas vidas úteis, conforme especificado pelos fabricantes. No caso das baterias, prevemos a substituição de 2 unidades, garantindo o desempenho total ao longo dos 10 anos, com trocas a cada 5 anos, ao término de suas vidas úteis. Já em relação à luminária, projetamos o uso de apenas 1 unidade, uma vez que, segundo o fabricante, sua durabilidade alcança 50.000 horas ligada, considerando que ela funcionará por 11 horas diárias, sua vida útil pode até ultrapassar os 10 anos, para o controlador, planejou-se a utilização de apenas 1 unidade ao longo dos 10 anos, respaldados pela garantia do fabricante, relativamente os fotocélula, estimamos a substituição de 3 unidades durante esse período, dado que sua vida média útil é de 3 anos. Essa estimativa abrange os custos de mão de obra para instalação, substituição e manutenção necessária de cada um desses componentes citados. Adicionalmente, o braço de sustentação da luminária possui uma durabilidade estimada de cerca de 20 anos, tornando-se um componente de baixo custo e sem necessidade de manutenção durante esse período, incluindo

também nesse mesmo período a utilização de quatro metros de cabo PP para a instalação elétrica determinada a cada lâmpada do projeto. Os detalhes completos dos custos ao longo dos 10 anos deste projeto podem ser encontrados na Tabela 6, proporcionando uma visão ampla de todos os gastos associados.

Tabela 5: Custo em demanda do projeto no período de 10 anos.

Itens total	Itens individual	Material	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
334	1	Painel Fotovoltaico	360,00	120.240,00
334	2	Bateria Chumbo-ácido	253,00	169.004,00
334	1	Luminária	353,00	117.902,00
334	1	Controlador de carga	149,00	49.766,00
334	3	Relé Fotocélula	40,72	40.801,44
334	1	Braço de sustentação da luminária	28,90	9.652,00
334	5	Mão de Obra	30,00	50.100,00
334	4 M	Cabo PP flexível	5,25	6.987,00
Custo Total do Orçamento (R\$)				564.452,00

Fonte: Autoria própria (2023)

Como exposto no quadro acima, o investimento total do projeto, levando em conta as manutenções necessárias, totaliza R\$564.452,00. Visto de outras formas, pode-se perceber que o valor médio aproximadamente por cada luminária individual completa fica em torno R\$1.690,06, diante de todo o período desses 10 anos.

3.9. RESULTADO DA ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA E FINANCEIRA DO PROJETO

Ao analisar a média do custo anual de energia elétrica nos anos de 2020, 2021 e 2022, observou-se que a prefeitura de Água Nova-RN paga aproximadamente R\$97.426,08 anualmente para concessionária de energia, no setor de iluminação pública. No entanto, o sistema proposto neste projeto oferece a possibilidade de reverter esse gasto, gerando economia para o município.

Para avaliar a viabilidade econômica do projeto, foram realizados os cálculos do Valor Presente Líquido (VPL), da Taxa Interna de Retorno (TIR) e do período de payback. A Tabela 7 apresenta esses resultados e fornece uma análise detalhada do fluxo de caixa, indicando o período necessário para recuperar o investimento e alcançar a lucratividade do projeto. Isso é obtido pela comparação entre a depreciação do valor investido e a economia gerada ao longo do tempo.

O fluxo de caixa deste projeto foi calculado ao longo de um período de 10 anos, escolhido com base no término da garantia estimada pelos fabricantes dos painéis fotovoltaicos. No fluxo de caixa desse projeto, foi considerado um reajuste anual de 5% no valor pago na conta de energia de iluminação pública a cada ano. Para fins de cálculo do Valor Presente Líquido (VPL) do projeto, aplicamos uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA), também conhecida como Taxa Mínima de Retorno (TMR), de 13%, que foi obtida a partir da (Selic) Sistema Especial de Liquidação e de Custódia, reajustada em junho de 2023. Essa taxa é essencial, pois indica que o projeto precisa proporcionar um retorno anual superior a 13% para ser economicamente viável. Caso contrário, não seria justificável investir um montante significativo em um projeto que não oferecesse um retorno superior a essa taxa mínima.

Além disso, calculou-se a Taxa Interna de Retorno (TIR) para determinar se o desconto exato do VPL é maior ou igual a zero. Se a TMA for maior que a TIR, isso indicaria que o projeto não é viável. Por outro lado, se a TMA for menor que a TIR, o projeto é considerado viável. O valor do payback, por sua vez, nos informa o tempo necessário para obter o retorno do investimento realizado. Os resultados que demonstram a viabilidade econômica do sistema podem ser encontrados na Tabela 7 abaixo.

Tabela 6: viabilidade economia do projeto com sistema Off-Grid.

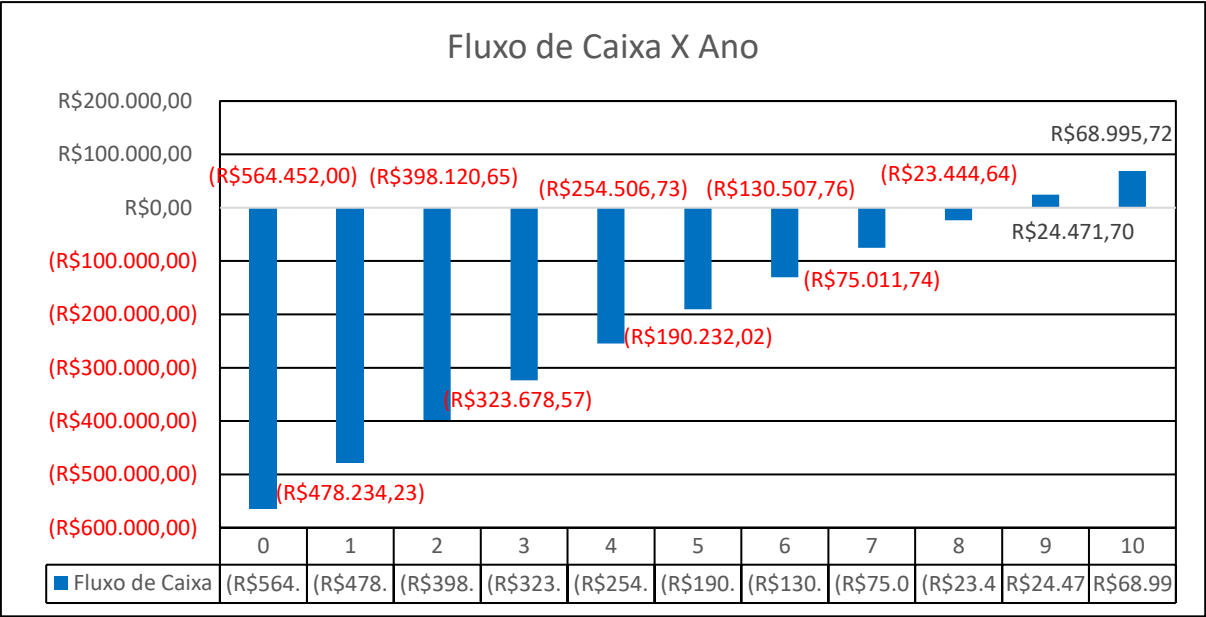
Ano	investimento	Fluxo de caixa	VPL	payback
0	-R\$ 564.452,00	-R\$ 564.452,00	-R\$ 564.452,00	-R\$ 564.452,00
1		R\$ 97.426,08	R\$ 86.217,77	-R\$ 478.234,23
2		R\$ 102.297,03	R\$ 80.113,58	-R\$ 398.120,65
3		R\$ 107.412,25	R\$ 74.442,08	-R\$ 323.678,57
4		R\$ 112.782,86	R\$ 69.171,84	-R\$ 254.506,73
5		R\$ 118.422,00	R\$ 64.274,72	-R\$ 190.232,02
6		R\$ 124.343,01	R\$ 59.724,25	-R\$ 130.507,76
7		R\$ 130.560,25	R\$ 55.496,02	-R\$ 75.011,74
8		R\$ 137.088,26	R\$ 51.567,10	-R\$ 23.444,64
9		R\$ 143.942,68	R\$ 47.916,34	R\$ 24.471,70
10		R\$ 151.139,81	R\$ 44.524,03	R\$ 68.995,72

Fonte: Autoria própria (2023)

Com base nos resultados calculados, observa-se que o projeto exigirá um período de oito anos e cinco meses para obter o retorno do valor inicial investido de R\$564.452,00. Após esse período, pode-se considerar que o projeto começará a gerar lucro. Durante os 10 anos que foi implantado, esse projeto proporcionará uma renda líquida positiva de R\$68.995,72, o que representa o Valor Presente Líquido (VPL). Ter um VPL positivo indica que o projeto viável para implementação. Além disso, a Taxa Interna de Retorno (TIR) do projeto é de 15,7% ao ano, superior à Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 13%, fornecida pela Selic. Isso demonstra a viabilidade do projeto e sugere que ele é uma opção vantajosa para investimento.

De maneira mais objetiva, a viabilidade econômica do sistema fotovoltaico off-grid é confirmada, através no Gráfico 1, diante dos valores obtidos da Tabela 7 que representa o fluxo de caixa acumulado em 10 anos.

Figura 20: Gráfico da viabilidade economia e o fluxo de caixa em 10 anos do projeto com sistema OFF-GRID



Fonte: Autoria própria (2023)

O Gráfico 1 acima é apresentado diante uma análise mais clara econômicas do projeto com sistema off-grid ao longo de 10 anos. Ele destaca o fluxo de caixa projetado, demonstrando claramente a vendabilidade do investimento ao longo do tempo. Os resultados positivos confirmam que a implementação deste sistema não é apenas financeiramente vantajosa, mas também contribui para um futuro mais sustentável e econômico. Esta análise só reforça a importância de adotar soluções energéticas limpas e eficazes não só para o setor de iluminação pública.

4. CONCLUSÃO

Após toda pesquisa e estudo realizado, foi possível detectar que o crescimento da sociedade está diretamente relacionado ao aumento do consumo de energia. Esse crescimento não se limita apenas à população brasileira, mas abrange todo o mundo. Diante desse aumento, torna-se indiscutível que as políticas relacionadas ao consumo e geração de energia precisam têm um direcionamento maior para o crescimento sustentável. Por consequentemente, isso proporcionará uma maior direção para as matrizes energéticas, tornando-as mais confiáveis e eficientes.

Após considerarmos todos os aspectos abordados até o momento, podemos destacar a energia solar fotovoltaica como uma das principais opções de energia limpa e renovável. Atualmente, essa fonte de energia se destaca por sua acessibilidade, custo de investimento relativamente baixo em comparação a outras formas de energia renovável, e pela necessidade reduzida de manutenção nos equipamentos envolvidos.

O principal objetivo deste estudo foi realizar uma análise da viabilidade econômico-financeira da implementação de um sistema fotovoltaico Off-Grid para a iluminação pública da cidade de Água Nova-RN. O propósito deste projeto foi apresentar uma forma de viabilizar a redução dos gastos públicos com energia elétrica por meio de um sistema de iluminação independente do fornecimento de energia pela concessionária local.

Com base no estudo realizado, foi demonstrado que o período de retorno lucrativo, diante do investimento inicial, é de apenas 8 anos e cinco meses. Essa análise dos dados evidencia que o investimento se tornará lucrativo um pouco antes do final da garantia dos painéis fotovoltaicos. Os resultados obtidos pelo projeto confirmam não apenas a independência da iluminação em relação a outras fontes de energia, mas também contribuem significativamente para reforçar a necessidade de usar fontes de energia das matrizes renováveis. Isso é enfatizado pelos valores positivos alcançados, como o Valor Presente Líquido (VPL) de R\$ 68.995,72 e a Taxa Interna de Retorno (TIR) de 15,7% ao ano, que superam significativamente a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 13% ao ano estimada inicialmente.

Através que foi exposto, fica evidente que, além de ser viável financeiramente, o projeto também traz benefícios significativos para o meio ambiente. Como sugestão para futuros trabalhos, poderia ser realizada uma análise de ambos os gastos com

energia nos prédios públicos da cidade de Água Nova-RN. Isso possibilitaria a implementação de sistemas fotovoltaicos em todas essas instalações, transformando a cidade em um exemplo de economia e sustentabilidade, promovendo assim um impacto ainda mais positivo tanto do ponto de vista econômico quanto socioambiental.

REFERÊNCIAS

Abastece componentes. Relé fotocélula fotoelétrico 1000W bivolt RFE-131 margirius. **Abastece componentes**, 2023. Disponível em: https://www.abastece.com.br/products/rele-fotocelula-fotoelettrico-1000w-bivolt-rfe-131-margirius?_pos=2&_sid=7bcb5c479&_ss=r. Acesso em: 10 ago. 2023

Alves, Aline; Mattos, João G.; Azevedo, Iraneide S S. **Engenharia econômica**. [Digite o Local da Editora]: Grupo A, 2017. *E-book*. ISBN 9788595020573. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595020573/>. Acesso em: 15 jul. 2023

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 5101**: Iluminação pública – procedimento, Rio de Janeiro, ABNT, 2012. Disponível em: <http://universidadeniltonlins.com.br/wp-content/uploads/2019/04/NBR-5101-OK.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2023

Brasil, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3 ed. Brasília: Aneel, 2008. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2023

Brasil, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de Abril de 2012**. Aneel, 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/65eli/ren2012482.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2023

Brasil, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Macro e minigeração distribuída**, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/65elic65r-distribuida>. Acesso em: 19 jul. 2023

Brasil, Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço energético nacional 2020**: ano base 2019, Rio de Janeiro: EPE, 2020. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/65elic65rios65-dados-abertos/65elic65rios65/PublicacoesArquivos/65elic65rios-479/65elic65-528/bem2020_sp.pdf. Acesso em: 5 jul. 2023

Brasil, Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço energético nacional 20–2** - ano base 2011: síntese do relatório final, Rio de Janeiro: EPE, 2012. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-65elic65rios65oes-dados-abert65elic65rios65oes/PublicacoesArquiv65elic65rioscao-165elic65ico-102/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%202012.pdf>. Acesso em: 5 jul. 2023

Brasil, Empresa de Pesquisa Energética. **BEN 2022: Relatório Síntese–2022** - ano base 2021. EPE, 2022. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sit65elic65rios65cacoes-dados-ab65elic65rios65cacoes/PublicacoesArq65elic65riosicaca65elic65topicbem31/BeN_S%C3%ADntese_2022_PT.pdf. Acesso em: 5 jul. 2023

Brasil, Empresa de Pesquisa Energética. **Modalidades Tarifárias**, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/entenda-a-tarifa/modalidades-tarifarias>. Acesso em: 28 ago. 2023

Brasil, Empresa de Pesquisa de Energia Elétrica. **ABCD Energia: Matriz energética e elétrica.** 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 6 jul. 2023

Brasil. Ministério das Minas e Energias. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021:** ano base 2020. Brasília: Ministério das Minas e Energias, 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/66elic66rios66blicasoes-dados66elic66rios66blicasoes/Publicacoes66elic66riosublic66elic6660/topico-168/Anu%C3%A1rio_2021.pdf. Acesso em: 6 jul. 2023

Brisbane BatteryCentral. BAE Secura PVV Cell Solar 2 PVV140 (2V 140Ah). **Brisbane BatteryCentral,** 2023. Disponível em: <https://www.batterycentralbrisbane.com.au/batteries/automotive-batteries/bae-secura-pvv-block-solar-12v-137ah-battery-12v-2pvv140/>. Acesso em: 10 ago. 2023

Cresesb. **Tutorial sobre Geração Heliotérmica do Cresesb.** Centro de Referência para as energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito, 2012. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>. Acesso em: 20 jul. 2023

Fernandes, Samuel Ferreira. **Análise econômico financeira da utilização de energia solar para comércio e residências na cidade de Riacho de Santana/RN.** 2021, 63f, Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia), Universidade Federal do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/7915/1/SamuelFF_MONO.pdf. Acesso em: 30 jun. 2023

Ferreira Costa. Braço para Luminária Iluminação Públ—ca 50cm - Olivo. **Ferreira Costa,** 2023. Disponível em: https://www.ferreiracosta.com/produto/343833/braco-para-luminaria-iluminacao-publica-50cm-olivo?region_id=777777. Acesso em: 10 ago. 2023

Google Maps. **Água Nova,** 2023. Disponível em: <https://www.google.com/maps/@-6.2060559,-38.3019967,15z?entry=ttu>. Acesso em: 20 jul. 2023

Goldemberg, José; Lucon, Oswaldo. Energia e meio ambiente no Brasil. In: **Estudos Avançados,** vol. 21, n. 59. 2007, p. 7-20. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5336631/mod_66elic66rie/content/1/a02v2159.pdf. Acesso em: 10 jul. 2023

Gradella Villalva, Marcelo (org). **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações.** 2 ed. São Paulo: Saraiva Educação, 2015. Disponível em: <https://doceru.com/doc/s8vsnsc>. Acesso em: 5 jul. 2023

Gripp, Ádany Alexandre Ferreira. **Autoeficiência energética na instalação de postes autônomos em locais off-grid e o benefício econômico da retrofit da iluminação pública obsoleta por led.** 2019, 68f. Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado em Engenharia Elétrica), Centro Universitário do Sul de Minas, Varginha, 2019. Disponível em: <http://repositorio.unis.edu.br/bitstream/prefix/565/1/TCC%20%C3%81DANY%20ALEXANDRE%20FERREIRA%20GRIPP.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2023

Hastings, David F. **Análise financeira de projetos de investimento de capital** [Digite o Local da Editora]: Editora Saraiva, 2013. *E-book*. ISBN 9788502205505. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788502205505/>. Acesso em: 13 jul. 2023.

Kalogirou, Soteris A. **Engenharia de energia solar: processos e sistemas**. Tradução: Luciana Arissawa. Rio de Janeiro: Elsevier. 2016. Disponível em: <https://toaz.info/doc-view-2>. Acesso em: 5 jul. 2023

Laydner. 7015874 – AREALIGHT 50W 4000K – Ledvance. **Laydner**, 2023. Disponível em: <https://laydner.com/produto/7015874-ledvance-arealight-50w-4000k/>. Acesso em: 10 ago. 2023

Mattede, Henrique. O que é um LED SMD? Características e aplicações!. **Mundo da Elétrica**, 2023. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-um-led-smd-caracteristicas-aplicacoes/> Acesso em: 10 ago. 2023

NeoSolar. Controlador de Car^a PWM 20– 12/24V - Epever Landstar LS2024EU. **NeoSolar**, 2023. Disponível em: [https://www.neosolar.com.br/loja/controlador-car^a-pwm-20a-12-24v-epever-landstar-ls2024e.html?gclid=EAlaIqobChMIs_Wpz42egAMVozfUAR1KzwOIEAQYASABEgKZfvD_BwE](https://www.neosolar.com.br/loja/controlador-car%a-pwm-20a-12-24v-epever-landstar-ls2024e.html?gclid=EAlaIqobChMIs_Wpz42egAMVozfUAR1KzwOIEAQYASABEgKZfvD_BwE). Acesso em: 10 ago. 2023

NeoSolar. Paine Solar Fotovoltaico 155W - Resun RS6E-155M. **NeoSolar**. Disponível em: https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-155w-resun-rs6e-155m.html?gclid=EAlaIqobChMluJTJo97YgAMVKuxcCh1FBAnEEAQYASABEgKt7PD_BwE. Acesso em: 10 ago. 2023

OLIVEIRA, Bruno Villas Bôas de. **Estudo de Viabilidade para Instalação de um Poste de Iluminação Considerando um Sistema Fotovoltaico Autônomo**. 2017. 83 f. Tese (Do-torado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017. Cap. 5. Disponível em file:///C:/Users/MULTILASER/OneDrive/%C3%81rea%20de%20Trabalho/MEU%20TCC%20(%C3%81LVARO)/AQUIVO%20SELACIONADOS%20DEALGUNS%20TCC/TCC2017_BrunoVillasBoasOliveira.pdf. Acesso em: 20 jul. 2023

Pinho, João Tavares; Galdino, Marco Antonio (orgs). **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Crescesb, 2014. Disponível em: http://www.cresesb.67elic67rios67blicasoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf. Acesso em: 5 jul. 2023

Ross, Stephen A.; Westerfield, Randolph W.; Jaffe, Jeffrey et al. **Administração Financeira**. [Digite o Local da Editora]: Grupo A, 2015. *E-book*. ISBN 9788580554328. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580554328/>. Acesso em: 13 jul. 2023.

Stocko, Joilson Luiz; Lazzaretti, Julio; Santos, Maycon Willian Claus dos. **Estudo de caso comparativo entre uma luminária led e uma luminária convencional à vapor de sódio**. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Industrial Elétrica), Curitiba, 89p, 2013. Disponível em: [68elic68rios68positorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9975/2/CT_COELE_2013_1_14.pdf](https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9975/2/CT_COELE_2013_1_14.pdf). Acesso em: 18 ago. 2013

TN Benício Biz Editores. **Fontes renováveis sobem 0,6 ponto percentual na Matriz Energética, divulga MME**, 2020. Disponível em: <https://tnpetroleo.com.br/noticia/fontes-renovaveis-sobem-06-ponto-percentual-na-matriz-energetica-divulga-mme/>. Acesso em: 5 jul. 2023

WWF Brasil. **Mecanismos de suporte para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira**: modelos e sugestão para uma transição acelerada. 1ª ed. Brasília, 2015. Disponível em: https://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/mecanismos_de_suporte_para_insercao_da_energia_solar_1.pdf. Acesso em: 10 ago. 2023

XP Expert. Selic a 13,75%: como ficam os rendimentos em Renda Fixa. **Site da XP Expert**, 2023. Disponível em: <https://conteudos.xpi.com.br/re68elic68riose68elicios/selic-1375rendafixa/#:~:text=O%20Comit%C3%AA%20de%20Pol%C3%ADtica%20Monet%C3%A1ria,mercado%20e%20por%20nossos%20analistas>. Acesso em: 13 jul. 2023

Anexo A – Painei fotovoltaico Resun RS6E-155M



WWW.RESUNSOLAR.COM



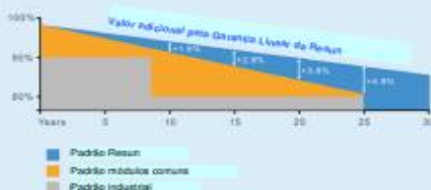
36 Células
Monocristalino

155W
Monocristalino

18,05%
A mais alta eficiência

0~+5W
Tolerância

0,5% de Degradação Anual
ao longo de 30 anos



GARANTIA DE DESEMPENHO LINEAR

12 anos de garantia do produto / 30 anos de garantia do desempenho linear

RS6E-155M

O RS6E-155M é um módulo solar robusto de 36 células. Esses módulos podem ser usados para aplicações *on-grid* (conexão à rede). O meticuloso projeto e as técnicas de produção asseguram um ótimo desempenho em longo prazo para cada módulo produzido. Nosso rigoroso controle de qualidade e os laboratórios de teste em nossas instalações garantem que os módulos solares Resun atendam aos mais rigorosos padrões de qualidade possíveis.



Alta eficiência na conversão (até 18,05%), através da tecnologia superior de produção



Tolerância positiva de 0~+5W na potência do módulo garante alta confiabilidade



O revestimento antirreflexo, hidrófugo, melhora a absorção da luz e reduz a poeira na superfície



Excelente desempenho sob condições de baixa luminosidade (de manhã, à tarde ou em dias nublados)



Adequado a ambientes severos, como os litorâneos, desertos e lagos. Suporta alta carga de ventos (2400pa) e neve (5400pa)

Ampla gama de produtos e sistemas de certificação

ISO 9001 TUV PID-FREE CE IEC61215/61730/61702/62716



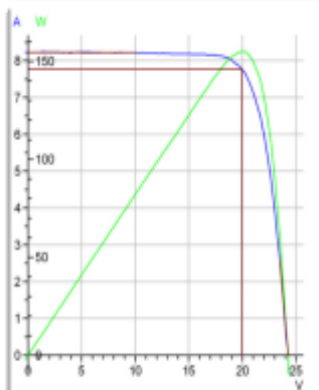
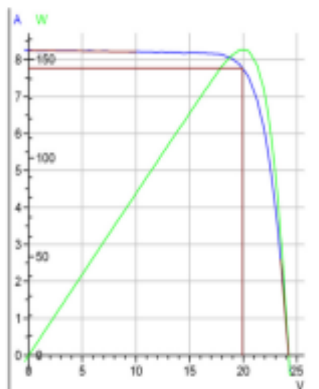
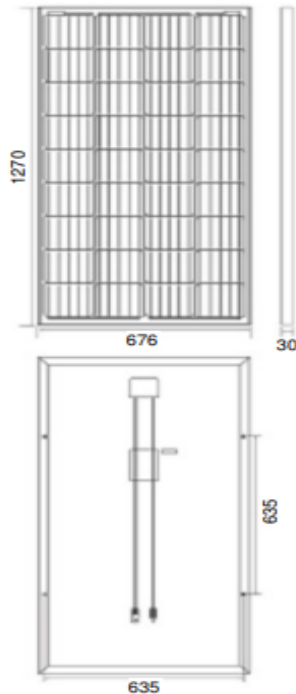
RS6E-155M



PRODUTOS PROFISSIONAIS PV GLOBAIS

PROVEDOR DE SOLUÇÕES INTEGRADAS

Dimensões dos Módulos PV (Unidade: mm)



A: Room 606, No.13, Yongshang Garden, Jinfeng Road,
Mudu Town, Wuzhong District, Suzhou, Jiangsu Province, China
T: +86 512-66292101
W: www.resunsolar.com E: info@resunsolar.com

DADOS ELÉTRICOS (STC)

Potência Nominal em Watts - Pmax (Wp)	155W
Tensão em Circuito Aberto - Voc (V)	24,46V
Corrente de Curto-circuito - Isc (A)	8,31A
Tensão à Máxima Potência - Vmp (V)	20,64V
Corrente Máxima - Imp (A)	7,51A
Eficiência do Módulo (%)	18,05%

STC: Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 according to EN 60904-3.

DADOS ELÉTRICOS (NOCT)

Potência Máxima - Pmax (Wp)	115,6W
Tensão em Circuito Aberto - Voc (V)	22,94V
Corrente de Curto-circuito - Isc (A)	6,71A
Tensão à Máxima Potência - Vmp (V)	19,20V
Corrente Máxima - Imp (A)	6,02A

NOCT: Irradiance at 800 W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s.

DADOS MECÂNICOS

Células Solares	Monocristalinas, 157 x 132mm
Configuração das Células	36 células (4 x 9)
Dimensões do Módulo	1270 x 676 x 30mm
Peso	11kg
Cobertura Frontal	Vidro Temperado de 3,2mm
Material da Estrutura	Liga de Alumínio Anodizada
J-BOX (Caixa de Junção)	IP65
Cabos	4mm²(IEC)/12AWG(UL), 900 mm
Conectores	MC4 ou MC4-compatível
Embalagem Padrão	

TEMPERATURA & VALORES MÁXIMOS

Temperatura Nominal de Operação da Célula (NOCT)	45°C ± 2°C
Coefficiente de Temperatura da Voc	-0,28% / °C
Coefficiente de Temperatura da Isc	-0,048% / °C
Coefficiente de Temperatura da Pmax	-0,35% / °C
Temperatura de Operação	-40~+85°C
Tensão Máxima do Sistema	1000W(IEC)/1000V(UL)
Valor Máximo do Fusível	15A
Limitação da Corrente Reversa	15A

CONFIGURAÇÃO DA EMBALAGEM

Número de Módulos por Contêiner

Embalagem

Peso da Embalagem

Número da Embalagem

Dimensões da Embalagem

Anexo B – Bateria de chumbo-ácido reguladas por válvula (VRLA)

BAE *SECURA PVV BLOCK solar*



Technical Specification for Valve Regulated Lead-Acid Batteries (VRLA)



1. Application

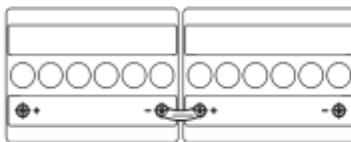
BAE PVV Block solar batteries are maintenance-free and used to store electric energy in small solar photovoltaic installations.

2. Technical data (Reference temperature 20°C)

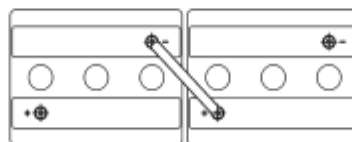
Type	C _{1h} Ah	C _{10h} Ah	C _{20h} Ah	C _{72h} Ah	C _{100h} Ah	C _{120h} Ah	C _{240h} Ah	R _i 1) mΩ	I _k 2) kA	Length mm	Width mm	Height mm	Weight kg
U _e (100 %)/Vpc	1.65	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80						
U _e (80 %)/Vpc	1.80	1.91	1.91	1.91	1.91	1.91	1.91						
12V 1 PVV 70	37.6	57.4	61.8	70.0	71.8	72.7	75.1	21.60	0.58	272	205	385	43.0
12V 2 PVV 140	72.4	110	118	133	137	139	144	10.80	1.15	272	205	385	52.0
12V 3 PVV 210	109	166	178	202	206	210	216	7.20	1.73	380	205	385	74.2
6V 4 PVV 280	150	229	248	280	287	290	300	2.70	2.30	272	205	385	51.0
6V 5 PVV 350	188	287	308	349	359	363	374	2.16	2.88	380	205	385	65.0
6V 6 PVV 420	226	344	370	420	431	435	451	1.80	3.45	380	205	385	73.8
2V 12 PVV 840	451	688	742	842	862	872	900	0.30	6.90	272	205	385	51.0
2V 15 PVV 1050	564	860	926	1,051	1,080	1,090	1,125	0.24	8.63	380	205	385	65.0
2V 18 PVV 1260	677	1,030	1,112	1,260	1,290	1,308	1,351	0.20	10.35	380	205	385	73.8

1) R_i and 2) I_k values according to IEC 60896-21

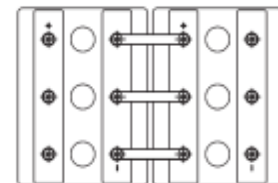
3. Terminal position



12V 1 PVV 70 to 12V 3 PVV 210



6V 4 PVV 280 to 6V 6 PVV 420



2V 12 PVV 840 to 2V 18 PVV 1260

Terminals are designed as female poles with brass inlay M10 for insulated solid copper connectors with cross-section 90, 150 or 300 mm² or flexible insulated copper cables with cross-section 25, 35, 50, 70, 95 or 120 mm².

Technical Specification of BAE *SECURA PVV BLOCK solar*

4. Design

positive electrode	tubular - plate with a polyester gauntlet and solid grids in a corrosion-resistant PbCaSn - alloy
negative electrode	grid - plate in PbCaSn alloy with long life expander material
separation	Microporous separator
electrolyte	sulphuric acid with a density of 1.24 kg/l, fixed as GEL by fumed silica
container and lid	high impact, SAN (Styrol-Acrylic-Nitrile), grey coloured, UL-94 rating: HB, on request also in UL-94 rating: V-0
valve	one valve per cell with flame arrestor, opening pressure approx. 120 mbar
pole-bushing	100% gas- and electrolyte-tight, sliding, plastic-coated "Panzerpol"
kind of protection	IP 25 regarding DIN 40050, touch protected according to VBG 4

5. Installation

BAE SECURA PVV BLOCK solar batteries are designed for indoor applications.

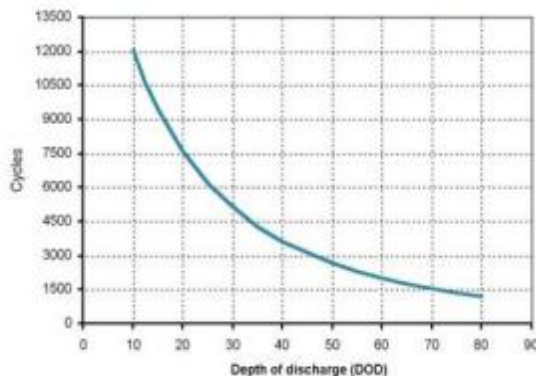
6. Maintenance

every 6 months	check battery voltage as well as temperature
every 12 months	check of mechanical and electrical connections, record battery cell voltage as well as temperature

7. Operational data

depth of discharge (DOD)	restricted to 80 % according to final voltage per cell and discharge time as per Item 2, deep discharges of more than 80 % DOD have to be avoided may vary from $5 \times I_{10}$ down to $0.01 \times I_{10}$
charge current	restricted from 2.30 V to 2.40 V per cell
charge voltage	2.30 V – 2.35 V per cell
• DOD per day < 40 % C_{10}	2.35 V – 2.40 V per cell
• DOD per day > 40 % - 60 % C_{10}	no adjustment necessary if battery temperature is between 10 °C and 45 °C in the monthly average, otherwise $\Delta U/\Delta T = -0.003 \text{ Vpc/K}$
adjustment of charge voltage	within a period of one up to 4 weeks
recharge to 100 %	1950 (A+B)
IEC 61427 cycles	
operational temperature	-20 °C to 45 °C, recommended temperature range 10 °C to 30 °C
self-discharge	approx. 2 % per month at 20°C

8. Number of cycles as function of DOD (Depth of discharge)



9. Transport

Batteries are not subject to ADR (road transport), if the conditions of special rule 598 (chapter 3.3) are observed.

10. Standards

Test standard	IEC 60896-21, IEC 61427
Safety standard, ventilation	EN 50272-2



BAE Batterien GmbH
 Wilhelminenhofstraße 69/70
 12459 Berlin · Germany
 P.O. Box 9 · 12442 Berlin
 Tel. +49 30 53001-0
 Fax +49 30 5354949
 E-mail: info@bae-berlin.de
 www.bae-berlin.de

Anexo C – Controlador de Carga PWM 20A - Epever Landstar LS2024EU

Muito obrigado pela escolha do nosso controlador de carga solar LandStar E/EU. Por favor, pedimos que faça a leitura deste manual cuidadosamente antes de fazer uso do produto e tenha atenção as "Informações de Segurança".

Controlador de Carga Solar LandStar E/EU series

1. Informações de Segurança

- Leia cuidadosamente todas as instruções e avisos contidos no manual antes de iniciar a instalação.
- Não desmonte ou tente reparar o controlador.
- Instale fusíveis e disjuntores externos apropriados às características técnicas de seu projeto.
- Desconecte o arranjo fotovoltaico e desarme os fusíveis/ disjuntores das baterias antes de realizar a instalação, intervenções ou quaisquer ajustes no equipamento.
- As ligações elétricas devem permanecer bem apertadas para evitar o aquecimento excessivo.
- As baterias podem ser interligadas entre elas, realizando ligações Série/Paralelo, respeitando sempre os parâmetros do controlador.
- **Risco de choque elétrico, o sistema fotovoltaico e a carga podem produzir altas tensões enquanto o controlador estiver em funcionamento.**

2. Visão Geral

O LandStar E/EU series é um controlador de carga PWM que adota uma das técnicas digitais mais avançadas. É um controlador de fácil operação e com ótimo custo-benefício, contendo:

- 3 estágios de carregamento : Bulk, Boost, Float (em caso de dúvidas com os estágios de carregamento, acesse o link: [Carregamento das baterias](#))
- O controlador atende 3 tipos de baterias: Inundada (FLD), Selada (SLD) e AGM
- As indicações através do LED mostram a situação da bateria no momento.
- Contém função de compensação da temperatura da bateria.
- Com configurações manuais, a operação será mais confortável e conveniente.
- O USB fornecerá uma fonte de alimentação que pode carregar equipamentos eletrônicos (apenas para a série LS / EU)
- Os tipos de bateria e saídas de carga podem ser definidos através do botão.
- Proteção eletrônica extensiva.

3. Características do Produto

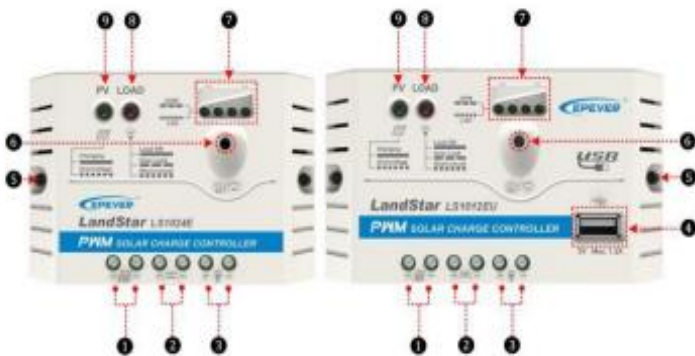


Figura 1 – Funções do produto

1	Entrada dos módulos	6	Botão de Interruptor de Carga
2	Terminais da bateria	7	Indicadores de LED para estado da bateria
3	Terminais de carga	8	Indicadores de LED para estado da carga
4	Interface de saída USB (apenas para série LS E)	9	Indicadores de LED para estado de carregamento
5	Furo de montagem Ø4.5		

4. Instalação

2ª parte: Faça a conexão do sistema nessa ordem: 1) bateria → 2) carga → 3) conjunto de módulos e desconecte o sistema na ordem reversa: 3 2 1.



AVISO: Na instalação, certifique-se que o fusível/disjuntor esteja aberto e confirme que os polos "+" e "-" estejam conectados corretamente.



AVISO: Em um fusível cuja corrente é 1,25 a 2x a corrente nominal do controlador, este deve ser instalado ao lado da bateria com uma distância inferior a 150 mm.



AVISO: Se um inversor precisar ser ligado ao sistema, ligue-o diretamente à bateria, e nunca na saída de carga do controlador.

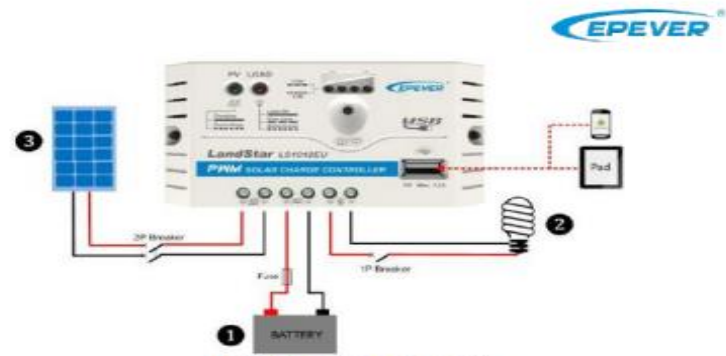


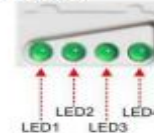
Figura 2: Diagrama de conexão

5. Indicadores do LED

1) Indicadores de estado de carregamento e carga

Indicador	Cor	Estado	Instrução
Indicadores de LED para estado de carregamento	Verde	Aceso	Carregando
	Verde	Apagado	Sem carregamento
	Verde	Piscando rapidamente	Sobretensão na bateria
Indicadores de LED para estado da carga	Verde	Aceso	Carga ligada
	Verde	Apagado	Carga desligada
	Verde	Piscando lentamente	Sobre Carga
	Verde	Piscando rapidamente	Curto-circuito na carga

2) Indicadores de estado da bateria



LED1	LED2	LED3	LED4	Estado da Bateria
Piscando lentamente	x	x	x	Sob tensão
Piscando rapidamente	x	x	x	Sobrecarga
Indicadores LED para estado da bateria durante a tensão ALTA				
○	○	x	x	12,8V < U _{bat} < 13,4V
○	○	○	x	13,4V < U _{bat} < 14,1V
○	○	○	○	14,1V < U _{bat}
Indicadores LED para estado da bateria durante a tensão BAIXA				
○	○	○	x	12,8V < U _{bat} < 13,4V
○	○	x	x	12,4V < U _{bat} < 12,8V
○	x	x	x	U _{bat} < 12,4V

AVISO:

① Valores referentes para um sistema de 12V a 25°C. Para um sistema de 24V, duplique os valores.

② "○" Indicação de LED ligado; "x" Indicação de LED desligado.

6. Configurações Operacionais

1) Configurações para LIGADO / DESLIGADO

Quando o controlador estiver ligado, pressione o botão para controlar a saída de carga

2) Tipos de configuração da bateria

Operação:

1º Entre no modo de configuração pressionando o botão por 5 segundos até que os LEDs do estado da bateria fiquem piscando.

2º Selecione o modo desejado pressionando o botão

3º O modo será salvo automaticamente sem qualquer outra operação e os LEDs deixarão de piscar.

Indicação para os tipos de bateria:

LED1	LED2	LED3	Tipo de bateria
○	x	x	SEL (padrão)
○	○	x	AGM
○	○	○	FLD

NOTA: "○" Indicação de LED ligado "x" Indicação de LED desligado

Parâmetros de controle da tensão da bateria

Os parâmetros a seguir são para um sistema de 12V a 25°C. Para um sistema de 24V, duplique os valores.

Tipo de bateria	SEL	AGM	FLD
Tensão de desconexão por sobretensão (OVD)	16,0V	16,0V	16,0V
Tensão limite de carregamento	15,0V	15,0V	15,0V
Tensão de reconexão de sobretensão	15,0V	15,0V	15,0V
Tensão de equalização	14,6V	—	14,8V
Tensão de carga / boost	14,4V	14,2V	14,6V
Tensão de flutuação / float	13,8V	13,8V	13,8V
Tensão de reconexão para carga / boost	13,2V	13,2V	13,2V
Tensão mínima de reconexão	12,6V	12,6V	12,6V
Alerta de tensão baixa / Tensão de Reconexão	12,2V	12,2V	12,2V
Alerta de baixa tensão	12,0V	12,0V	12,0V
Tensão de desconexão de baixa tensão (LVD)	11,1V	11,1V	11,1V
Tensão limite de descarga	10,6V	10,6V	10,6V
Tempo de equalização	120 min.	—	120 min.
Tempo de carga / boost	120 min.	120 min.	120 min.

7. Proteção**• Proteção para sobretensão da bateria**

Quando a tensão da bateria atingir o ponto definido de tensão de desconexão por sobretensão (OVD), o controlador deixará de carregar a bateria para protegê-la de sobrecarga e para não se deteriorar.

Quando a tensão da bateria atingir o ponto tensão de desconexão de baixa tensão (LVD), o controlador deixará de descarregar a bateria para protegê-la de ser descarregada em excesso.

• Proteção para sobretensão de carga

A carga será desligada quando a sobrecarga for de 1,25x a corrente nominal. O usuário precisa reduzir a carga do aparelho, depois pressionar o botão ou reativar o controlador.

• Proteção para curto-circuito de carga

A carga será desligada quando ocorrer um curto-circuito de carga ($\geq 3x$ a corrente nominal). O usuário precisa primeiramente identificar onde está o curto-circuito, após encontrá-lo deve eliminá-lo, e por último pressionar o botão ou reativar o controlador.

• Proteção para alta tensão "transitória"

O controlador está protegido contra pequenas transições de alta tensão. Em áreas propensas a relâmpagos, recomenda-se uma proteção externa adicional.

8. Resolução de Problemas

Falhas	Possíveis reações	Resolução do problema
Indicadores de carga (LEDs) desligam-se durante o dia enquanto módulos fotovoltaicos funcionam devidamente	Desconexão com os módulos	Confirme que os módulos e a bateria estão conectados corretamente
Sem indicação pelos LEDs	Tensão da bateria talvez esteja abaixo de 8V	Medir tensão da bateria com multimetro. Com mínimo de 8V já é possível iniciar o controlador.
Indicadores de LED para estado da carga – piscando rapidamente	Sobretensão da bateria	Confirme se a tensão da bateria é maior que o OVD, e desconecte os módulos.
LED1 piscando rapidamente	Bateria descarregada	Quando a tensão da bateria é restaurada para o ponto ou acima do ponto LVD, a carga irá ser recuperada.
Indicadores de LED para estado da carga – piscando lentamente	Sobrecarga na saída ①	① Por favor, reduza o número de equipamentos elétricos em uso ② Pressione o botão ou reinicie o controlador.
Indicadores de LED para estado da carga – piscando rapidamente	Curto-circuito	① Cheque de maneira segura as conexões de carga, identifique o problema ② Pressione o botão ou reinicie o controlador.

① Quando a corrente de carga atinge 1,25x, 1,5x e 2x mais que o valor nominal, o controlador desligará automaticamente as cargas em 60s, 5s e 1s respectivamente.

10. Casos que a garantia não se aplica

Esta garantia não se aplica sob as seguintes condições:

- Danos resultantes de utilização inadequada ou utilização num ambiente impróprio.
- Corrente, tensão ou potência dos módulos ou de carga que exceda o valor nominal do controlador.
- Desmontagem pelo usuário ou tentativa de reparação do controlador sem autorização.
- O controlador ser danificado devido a elementos naturais como a iluminação.
- O controlador ser danificado durante o transporte e expedição.

9. Especificações Técnicas

Item	LS0512E	LS1012E	LS1024E	LS2024E	LS0512EU	LS1012EU	LS1024EU	LS2024EU	LS3024EU
Tensão nominal do sistema	12VDC		12/24VDC Auto		12VDC		12/24VDC Auto		
Corrente nominal de carga	5A	10A		20A	5A	10A		20A	30A
Corrente nominal de descarga	5A	10A		20A	5A	10A		20A	30A
Tensão de entrada da bateria	8V ~ 16V		8V ~ 32V		8V ~ 16V		8V ~ 32V		
Tensão máxima de circuito aberto	30V		50V		30V		50V		
Autoconsumo	12V≤5mA; 24V≤7mA								
Queda de tensão no Circuito de Carga	≤0.21V				≤0.13V				
Queda de tensão no Circuito de Descarga	≤0.12V				≤0.17V				
Interface para entrada USB	—				5VDC/1,2A				5VDC/2A
Coefficiente de compensação da temperatura	-5mV/°C/2V								
Temperatura do ambiente de trabalho	-35°C ~ +55°C								
Humidade	≤95%, (N.C.)								
Proteção contra detritos sólidos e líquidos	IP30				IP20				
Aterramento	Positivo								
Dimensão total	92,8 x 65 x 20,2 mm	101,2 x 67 x 21,8 mm	101,2 x 67 x 21,8 mm	128 x 85,6 x 34,8 mm	109,7 x 65,5 x 20,8 mm	120,3 x 67 x 21,8 mm	120,3 x 67 x 21,8 mm	148 x 85,6 x 34,8 mm	148 x 106,8 x 43,7 mm
Dimensão de montagem	84,4 mm	92,7 mm	92,7 mm	118 mm	100,9 mm	111,5 mm		138 mm	
Tamanho do orifício de montagem	Φ4,5								
Terminais	14 AWG/ 2,5 mm²	12 AWG/ 4 mm²	12 AWG/ 4 mm²	10 AWG/ 6 mm²	14 AWG/ 2,5 mm²	12 AWG/ 4 mm²	12 AWG/ 4 mm²	10 AWG/ 6 mm²	8 AWG/ 10 mm²
Peso líquido	0.07kg	0.08kg	0.08kg	0.15kg	0.09kg	0.10kg	0.10kg	0.18kg	0.29kg