



UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO DA LUSOFONIA AFRO-BRASILEIRA
INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS

RAYDEL D'ASSUNÇÃO CARVALHO

ANÁLISE COMPARATIVA DO CUSTO DOS SISTEMAS DE
ELETRIFICAÇÃO RURAL NO CONTEXTO DO PROGRAMA LUZ PARA
TODOS

REDENÇÃO

2022

RAYDEL D'ASSUNÇÃO CARVALHO

**ANÁLISE COMPARATIVA DO CUSTO DOS SISTEMAS DE
ELETRIFICAÇÃO RURAL NO CONTEXTO DO PROGRAMA LUZ PARA
TODOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energias da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira.

Orientadora: Professora Mestra Janaína Barbosa Almada

REDENÇÃO

2022

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Sistema de Bibliotecas da UNILAB
Catalogação de Publicação na Fonte.

Carvalho, Raydel D'assunção.

C331a

Análise comparativa do custo dos sistemas de eletrificação rural no contexto do Programa Luz Para Todos / Raydel D'assunção
Carvalho. - Redenção, 2022.

48f: il.

Monografia - Curso de Engenharia de Energias, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2022.

Orientadora: Prof^a. Ms. Janaína Barbosa Almada.

1. Eletrificação Rural. 2. Sistema Fotovoltaico. 3. Rede Elétrica. 4. Energia -Distribuição. I. Título

CE/UF/BSCA

CDD 621.319

2022

UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA
AFRO-BRASILEIRA

RAYDEL D'ASSUNÇÃO CARVALHO

**ANÁLISE COMPARATIVA DO CUSTO DOS SISTEMAS DE
ELETRIFICAÇÃO RURAL NO CONTEXTO DO PROGRAMA LUZ PARA
TODOS**

Monografia julgada e aprovada para obtenção do título de Bacharel em Enfermagem pela
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira (UNILAB).

Data: 09/08/2022

Banca Examinadora:

Prof. Dra. Janaína Barbosa Almada (Orientadora)

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Hermínio Miguel de Oliveira Pinto (Avaliador)

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Profa. Dr Sabi Yari Moise Bandiri (Avaliador)

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

REDENÇÃO

2022

Aos meus pais, Fernando Olavo Carvalho e Margarida D'Assunção.

Aos meus irmãos, Ricardo Carvalho e Dário Carvalho

E a minha namorada, Cláudia Guimarães

AGRADECIMENTO

Agradeço especialmente aos meus pais Fernando Olavo Carvalho e Margarida D'Assunção, que nunca mediram esforços para investir na minha educação, além disso, pela confiança que sempre depositaram em mim, pela amizade, comprometimento, e principalmente pelo amor.

Agradeço aos meus irmãos, Ricardo Carvalho e Dário Carvalho, pelo apoio, amizade, e o incentivo ao longo da caminhada.

Agradeço a minha namorada Cláudia Guimarães pelo apoio incondicional, assim como, a paciência, companheirismo, atenção, carinho e o amor demonstrado todos os dias e fundamentalmente nos dias que mais precisei.

Agradeço a Profa. Ms. Janaina Barbosa Almada pela orientação, apoio e paciência, durante a elaboração do trabalho. Muito obrigada pelas dúvidas sanadas, e o conhecimento compartilhando, que tanto contribuiu para a realização deste trabalho.

Para concluir, gostaria de agradecer também aos meus amigos, Joel Almeida, Marcus Apresentação, Ednaldo Almeida, Heldijoy Costa, Dimas Teixeira e Milco Pereira, alguns mesmo distante sempre pude contar, grato pelos momentos de descontração nas ligações telefônicas e em casa, que fizeram essa jornada ser um pouco mais leve.

RESUMO

A eletrificação rural é um fator fundamental para o desenvolvimento regional, permite a população uma melhor qualidade de vida, acesso à informação, educação e integração. Apesar de ser considerado um serviço público essencial, algumas regiões do Brasil se encontram excluídas eletricamente, principalmente comunidades em zonas rurais. Assim sendo, neste trabalho é desenvolvida uma comparação de natureza técnico-econômico sobre as tecnologias de abastecimento de energia elétrica em regiões rurais, no contexto do programa brasileiro de universalização do atendimento a energia, nomeadamente o programa luz para todos. É considerado o projeto de sistema fotovoltaico isolado e o projeto de extensão de rede elétrica para a eletrificação a unidade consumidora localizada no meio rural na região de Acarape. Para o atendimento as cargas da unidade consumidora pelo sistema fotovoltaico isolado, inicialmente, foram feitas avaliação do recurso solar da região pelo atlas solar do Ceará, a fim de perceber o potencial solar da região. Além disso, é realizado o levantamento do consumo médio mensal da unidade consumidora, que posteriormente possibilitou o dimensionamento de todos os componentes do sistema fotovoltaico. Para o atendimento via extensão de rede elétrica foi utilizado a rede de baixa tensão, com ligação monofilar com retorno por terra. O sistema monofásico com retorno por terra consiste na utilização somente de um condutor para transmissão de potência à carga e o retorno da corrente de carga se faz pelo solo até a subestação. Mediante uma série de normas e especificações técnicas da Enel Distribuição Ceará realizou-se o dimensionamento do projeto de extensão de rede. Por fim, é apresentado um estudo de viabilidade econômica utilizando os indicadores econômicos como valor presente líquido, taxa interna de retorno, e o Paybak descontado, com vista a perceber qual das alternativas de investimento é a melhor.

Palavras chaves: Eletrificação Rural. Sistema Fotovoltaico Isolado. Extensão de Rede Elétrica.

ABSTRACT

Rural electrification is a fundamental factor for regional development, it allows the population a better quality of life, access to information, education and integration. Although some are considered a public service, regions of Brazil are electrically included, mainly communities in rural areas. Therefore, in this work, a comparison of a technical-economic nature is carried out on the technologies of electric energy supply in agricultural regions, in the context of the Brazilian program for the universalization of energy service, specifically the light for all programs. It is considered the isolated photovoltaic system project and the electrical network extension project for the electrification of the consumer unit located in the rural environment in the region of Acarape. For loads of a consumer unit by the system, the evaluation of the solar resource of the region was made by the solar atlas of Ceará, in order to perceive the solar potential of Ceará, in order to perceive the solar potential. In addition, a survey of the average consumption of the consumer unit is carried out, which later made it possible to design all the components of the photovoltaic system. For service an extension of the electrical network, the low voltage network was used, with a single-line connection with the ground return. The single-phase with ground return system consists of only one conductor for power transmission to the load and the return of the load current is made through the ground to the substation. Through a series of norms and technical specifications of Enel Distribuição Ceará, the dimensioning of the network extension was carried out. Finally, an economic feasibility study is presented using economic indicators such as net present value, internal rate of return, and discounted payback, in order to understand which of the investment alternatives is the best.

Keywords: Rural electrification. Isolated photovoltaic system. Mains extension.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Configuração do sistema isolado	19
Figura 2- Curva característica I-V sobre efeito da irradiação	19
Figura 3-Curva característica I-V sobre efeito da temperatura	20
Figura 4-Esquema de funcionamento	21
Figura 5- Inversores solares.....	21
Figura 6- Mapa climatológico solar	22
Figura 7- Tipologia da rede de BT	23
Figura 8- Inversor integrado com um controlador de carga	28
Figura 9- Localização da unidade consumidora	33
Figura 10- Estimativa Irradiação solar diária (média mensal) em Acarape	34
Figura 11- Fluxo de caixa das tecnologias de fornecimento	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Especificações Técnicas do módulo UP-M285P.....	35
Tabela 2- Especificações técnicas do inversor	37
Tabela 3- Especificações técnicas da bateria.....	39
Tabela 4- Preço dos equipamentos	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CCEE	Câmara de comercialização de Energia elétrica
CDE	Conta de Desenvolvimento Energético
ENEEL	Entidade Nacional de Eletricidade
FV	Sistema Fotovoltaico
GTES	Grupo de Trabalho de Energia Solar
HSP	Hora de Sol Pleno
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
I_{PPM}	Corrente no ponto de potência máxima do módulo
MME	Ministério de Minas e Energia
MPPT	Rastreamento do Ponto de Máxima Potência
PPFV	Potência do Painel Fotovoltaico
PLPT	Programa Luz Para Todos
SFI	Sistema Fotovoltaico Isolado
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa mínima de Atratividade
VPL	Valor Presente Líquido
V_{PPM}	Tensão no ponto de potência máxima do módulo

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivo Geral.....	15
1.2	Objetivos específicos	15
1.3	Organização do trabalho.	15
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Programa luz para todos	17
2.2	Sistema solar fotovoltaico isolado	18
2.2.1	Avaliação do recurso solar	21
2.3	Projeto de extensão de rede elétrica.....	22
3.	METODOLOGIA	24
3.1	Levantamento da demanda e consumo energético.....	24
3.2	Avaliação do atendimento a carga através do recurso solar	25
3.2.1	Dimensionamento do sistema fotovoltaico	25
3.2.2	Dimensionamento do inversor FV.....	27
3.2.3	Dimensionamento do controlador de carga.....	28
3.2.4	Dimensionamento das baterias	29
3.3	Projeto da extensão de rede.....	30
3.3.1	Dimensionamento elétrico.....	30
3.3.2	Dimensionamento mecânico.....	30
3.3.3	Proteção e Seccionamento	30
3.3.4	Aterramento	31
3.4	Análise financeira do projeto	31
3.4.1	Valor Presente Líquido.....	31
3.4.2	Taxa interna de retorno.....	32
3.4.3	Payback Descontado.....	32
4.	RESULTADOS OBTIDOS	33
4.1	Levantamento da demanda e consumo energético.....	33
4.2	Avaliação do atendimento a carga através do recurso solar	34
4.3	Dimensionamento do sistema fotovoltaico.....	35
4.4	Dimensionamento Inversor FV.....	36
4.5	Dimensionamento do Banco de Bateria.....	38
4.6	Projeto de Extensão de rede.....	39
4.7	Estimativa de custo do sistema fotovoltaico e da extensão de rede elétrica....	40

4.7.1	Custo do sistema fotovoltaico.....	40
4.7.2	Custo de Extensão de rede elétrica	41
4.8	Análise de viabilidade econômica	41
5.	CONCLUSÕES.....	43
	REFERÊNCIAS	44
	APÊNDICE	47

1. INTRODUÇÃO

Apesar do Brasil ter um enorme potencial energético, com uma matriz composta por diversas fontes de energia, constata-se uma parcela considerável da população ainda sem acesso à rede de distribuição de energia elétrica. Sendo os habitantes da zona rural de baixo poder aquisitivo os principais afetados por esse problema. Isso acontece porque as concessionárias alegam que o retorno com o consumo da população de zonas rurais não justifica os elevados investimentos necessários para levar a rede de distribuição até o local. Partindo do governo a criação de políticas públicas para atender essas necessidades energéticas.

Segundo IBGE (2000), 2 milhões de domicílios não tinham acesso à eletricidade no ano 2000, desse total, 1,6 milhões eram domicílios do meio rural. Números que tiveram uma baixa significativa no novo censo realizado em 2010, consequência das políticas públicas de acesso a eletricidade. As regiões sul, sudeste e parte da região oeste apresentavam maiores taxas de eletrificação, enquanto a região norte e nordeste apresentam as menores taxas de eletrificação (DASSIE, 2016).

O acesso à energia elétrica é fundamental para o desenvolvimento econômico e social de um país. Segundo Maciel (2019), a facilidade de acesso da população a serviços como transporte, saneamento básico e energia são fatores determinantes para o crescimento de um país. Enquanto os dois primeiros estão relacionados com a melhoria da saúde pública e a integração nacional, o acesso à energia promove o desenvolvimento econômico e social, que ocorre principalmente com o fornecimento de energia elétrica.

Nesse sentido, é imprescindível o fornecimento de energia elétrica no meio rural, não só para o aumento da produtividade da região, como permite o acesso a serviços de comunicação, internet etc. Além disso, permite uma diminuição da migração dos habitantes rurais para centros urbanos e, conseqüentemente, evita diversos problemas sociais tais como, desemprego e marginalização.

É importante realçar que essa realidade tem sido modificada no Brasil nas últimas décadas com a inserção dos programas de eletrificação rural propostos pelo governo federal, entre eles o Programa Luz Para Todos (PLPT), coordenado pelo Ministério de Minas e Energia, cujo objetivo é garantir eletricidade para todos os brasileiros.

Segundo Dassie (2016), o PLPT beneficiou 2,6 milhões de domicílios entre os anos de 2004 e 2010. O estado da Bahia foi o que recebeu mais ligações cerca de 432 mil domicílios beneficiados. Destaque ainda, para a região nordeste que mais reduziu o número de domicílios não conectados à rede elétrica, porém 22,18% não foram

beneficiados de acordo com o censo de 2011. A região norte foi a que menos reduziu, sendo que um total de 27,92% dos domicílios continuava sem ter acesso à eletricidade, na comparação dos dois censos. Contudo, constatou-se que até agosto de 2015 o PLPT atendeu mais de 3,2 milhões de domicílios, beneficiando mais de 15,5 milhões de pessoas na área rural, fazendo com que o PLPT seja um programa de inclusão elétrica mais ambicioso do mundo.

Diante disto, o presente trabalho tem como principal objetivo realizar o dimensionamento de um sistema fotovoltaico isolado e o dimensionamento de extensão de rede elétrica para uma residência no meio rural inserida no Programa Luz Para Todos, e efetuar uma análise de viabilidade econômica entre ambas as tecnologias de eletrificação.

1.1 Objetivo Geral

O estudo visa comparar o custo de fornecimento de energia elétrica através da energia solar fotovoltaica e a extensão de rede elétrica, em uma residência na região de Acarape – CE.

1.2 Objetivos específicos

- Estimar a demanda e o consumo energético da unidade consumidora;
- Conhecer e estimar o potencial solar da cidade de Acarape-Ce;
- Dimensionar o sistema fotovoltaico e a extensão de rede elétrica;
- Determinar o custo da instalação de ambos os sistemas.

1.3 Organização do trabalho.

O trabalho foi organizado em 5 capítulos e dois apêndices. O capítulo um tem como objetivo expor a relevância do tema.

O Capítulo 2 apresenta os principais aspectos relacionados a eletrificação rural. Nesse capítulo é feita uma breve abordagem sobre o programa luz para todos, identificando seus principais benefícios. Além disso, faz uma descrição dos principais componentes do sistema fotovoltaico, e a extensão de rede elétrica, assim como descrição do atlas solar do Ceará.

O Capítulo 3 apresenta a metodologia utilizados para a avaliação do recurso solar da região em estudo, assim como, para a determinação das cargas para o atendimento a

unidade consumidora, o dimensionamento das tecnologias selecionadas para eletrificação, e das variáveis para análise de viabilidade financeira.

O Capítulo 4 apresenta os resultados da avaliação do recurso solar, e a estimativa de demanda e consumo energético. Além disso, são apresentados os resultados do dimensionamento do sistema fotovoltaico isolado e extensão de rede elétrica, tal como, o custo para as suas instalações. E por fim, é feito um comparativo econômico entre as duas tecnologias. Já no Capítulo 5 as conclusões do trabalho são apresentadas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, será apresentado o Programa Luz para Todos bem como as formas típicas de atendê-lo. As principais iniciativas para o comprimento do programa são a extensão da rede elétrica e a instalação de sistemas fotovoltaicos isolados por parte das concessionárias de energia elétrica.

2.1 Programa Luz para Todos

O Programa Luz para Todos surgiu em novembro de 2003 com o intuito de promover a inclusão de famílias rurais de baixa renda por meio do fornecimento de energia elétrica. O programa é uma política pública coordenada pelo Ministério de Minas e Energias (MME), operacionalizada pela Eletrobrás e executado pelas concessionárias de energia elétrica (MME, 2009).

São beneficiários do programa luz para todos - PLPT as pessoas domiciliadas em áreas de concessão e permissão cujo atendimento resulte em elevado impacto tarifário, assim como as pessoas atendidas pelo programa territórios da cidadania ou pelo plano Brasil sem miséria. Além disso, são prioridades os assentamentos rurais, comunidades indígenas, quilombolas e outras comunidades localizadas em reservas extrativistas. As instalações de energia elétrica são gratuitas até uma carga instalada de 75 kW, cargas acima de 75 kW a concessionária informa ao solicitante se terá custo e de quanto será esse valor.

Os programas do governo federal para o desenvolvimento energético são regidos por uma série de encargos setoriais, que segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, têm o objetivo de possibilitar a implantação de políticas públicas no setor elétrico brasileiro. Os encargos setoriais podem ser: Conta de Consumo de Combustíveis – CCC, Conta de Desenvolvimento Energético – CDE, Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia – Proinfa, Encargo de Serviços de Sistema – ESS e Encargo de Energia de Reserva – EER, taxa de Fiscalização dos Serviços de Energia Elétrica – TFSEE, Pesquisa e Desenvolvimento – P&D e Eficiência Energética – EE, Reserva Global de Reversão – RGR, Contribuição dos Associados – ONS e a Compensação Financeira pela Utilização de Recursos Hídricos – CFURH (ANEEL, 2022).

Segundo o manual de operacionalização do programa luz para todos, os recursos do PLPT são provenientes do governo federal por meio da Conta de Desenvolvimento Energético - CDE, cuja finalidade é conceder financiamento para os custos do PLPT. O principal critério para atribuição desses recursos aos agentes executores (concessionárias

de distribuição de energia elétrica) é que sejam atendidos usuários de baixa renda em zonas rurais e atividades de irrigação.

De acordo com a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, os recursos da CDE são coletados por meio de cotas anuais fixadas pela ANEEL, pagas por todos os agentes que comercializam energia elétrica com o consumidor final, assim como, pagamentos anuais feito pelos concessionários e autorizados a título de Uso de Bem Público -UPB, das multas aplicadas pela ANEEL e as transferências de recursos do orçamento geral da união. O programa também pode ser financiado por agentes executores como concessionárias e permissionárias de distribuição de energia elétrica, por meio de recursos próprios ou oriundos de financiamento feitos no Banco CAIXA.

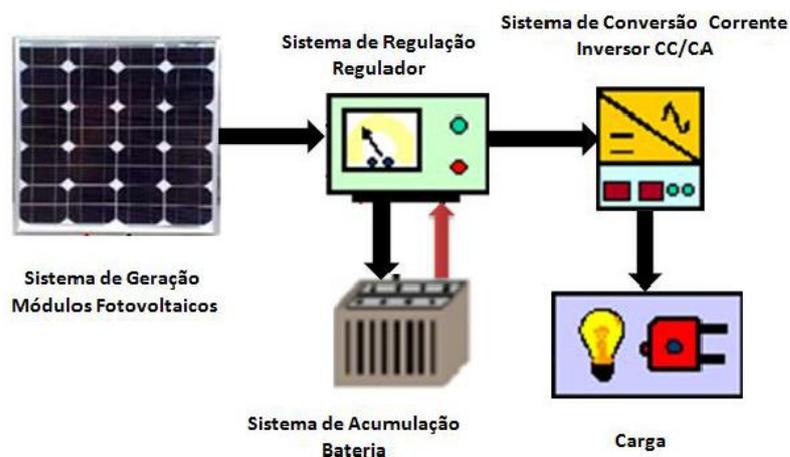
De acordo com o manual de operacionalização do PLPT, o fornecimento de energia elétrica é feito mediante a extensão da rede elétrica, sistema de geração descentralizada com redes isoladas ou sistemas de geração individual (unidades consumidoras), que pode ser realizado, por exemplo, com um projeto de energia fotovoltaica mais baterias. Foram definidos alguns critérios para o atendimento com essas tecnologias, sendo fundamental que os agentes executores priorizem a utilização de tecnologias, matérias e equipamentos que resultem na redução do custo das redes.

2.2 Sistema solar fotovoltaico isolado

O sistema fotovoltaico é um conjunto de equipamentos formados por blocos de gerador, bloco de condicionamento de potência e um bloco de armazenamento de energia que trabalham de forma conjunta para gerar eletricidade através de luz solar (SON, 2018)

O sistema fotovoltaico pode ser classificado em três categorias distintas, tais como, sistema isolado, híbrido e conectados à rede. O sistema isolado, que é o objeto de estudo do presente trabalho pode ser definido, segundo Furtado (2011), como sistemas autossuficientes, desconectados da rede elétrica convencional. Esse sistema utiliza sistemas de armazenamento (comumente banco de baterias), com o intuito de acumular energia em períodos de pouca ou nenhuma disponibilidade solar. O uso de controladores de carga é fundamental quando se necessita de armazenamento de energia através de baterias, pois, o controlador de carga tem como principal função não permitir que haja danos à bateria por sobrecarga ou descarga profunda. A configuração do sistema adotado é apresentada na Figura 1. Hoje, os inversores mais modernos têm o regulador de tensão (ou controlador de carga) acoplados ao mesmo equipamento.

Figura 1 - Configuração do sistema isolado



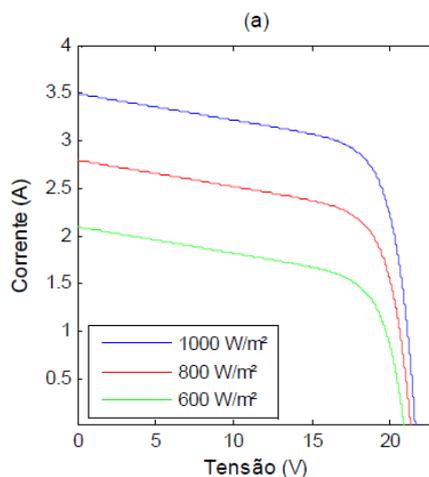
Fonte: Enel (2018)

a) Módulo fotovoltaico

A célula fotovoltaica é o elemento responsável pela conversão da radiação proveniente do sol em energia elétrica. O conjunto de células ligadas eletricamente entre si em paralelo e em série, são denominadas de módulo solar, responsáveis também pela captação da irradiação solar e a sua transformação em eletricidade, porém, em níveis de tensão mais alta que as células fotovoltaicas que tipicamente atingem apenas entre 0,6 e 0,7 V.

A irradiação e a temperatura são fatores que influenciam na saída de potência das células fotovoltaicas, conseqüentemente, de todo o sistema. A variação da intensidade de irradiação solar incidente em um painel fotovoltaico provoca uma variação proporcional na corrente gerada, isto é, quanto maior for a intensidade da irradiação solar maior a corrente elétrica gerada, conforme apresentado na Figura 2.

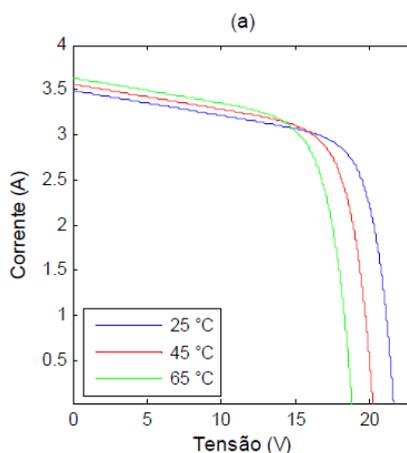
Figura 2- Curva característica I-V sobre efeito da irradiação



Fonte: Seguel (2009)

Diferente da influência da irradiação a corrente sofre poucas variações com a influência da temperatura. Entretanto o aumento da temperatura reduz a tensão do circuito aberto, diminuindo, conseqüentemente, a potência do módulo fotovoltaico. A Figura 3 apresenta a curva I-V para a temperatura.

Figura 3-Curva característica I-V sobre efeito da temperatura



Fonte: Seguel (2009)

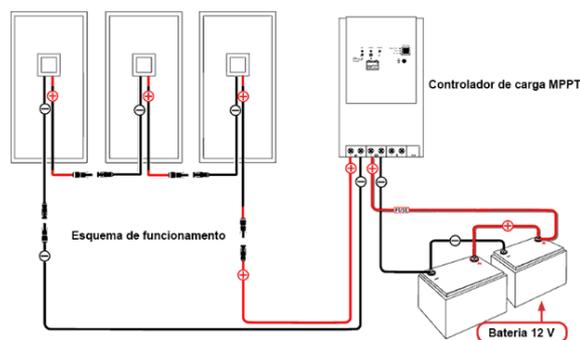
b) Controlador de carga

De acordo com a especificação técnica n° 133 da Enel, a função do controlador de carga é proteger as baterias contra sobrecargas e descargas profundas. Para o correto funcionamento do sistema fotovoltaico, principalmente da bateria, é importante que o controlador de carga apresente características como: bloquear a corrente reversa, possuir o controle automático da potência máxima através do ajuste da corrente e tensão no painel fotovoltaico, a tensão nominal do controlador é a tensão de trabalho e deve corresponder a tensão nominal das baterias, prevenir o excesso de carga, fornecer ao usuário indicação visual (LEDs, mostrador analógico, display em LCD ou outro tipo de mostrador), sinalizar o estado da bateria e o estado de operação. A Figura 4 apresenta o esquema de funcionamento do controlador de carga com Rastreamento do Ponto de Potência Máxima - MPPT.

c) Bateria

O uso de banco de baterias é fundamental em sistemas isolados, pois permite armazenar a energia elétrica gerada pelos módulos em períodos de maior irradiação e posteriormente ser utilizada em períodos nos quais a geração é insuficiente para atender as cargas, como, durante a noite ou em dias chuvosos, nublados ou com baixo nível de radiação (PINHO et al. 2014).

Figura 4-Esquema de funcionamento



Fonte: Enel (2018)

d) Inversor

O inversor é um equipamento que transforma a energia gerada em corrente contínua (CC) proveniente de baterias ou de módulos fotovoltaicos em corrente alternada (CA) (SON, 2018). O inversor deve dissipar o mínimo de potência, de modo a evitar perdas e produzir uma tensão com baixo teor de harmônicos

Figura 5- Inversores solares



Fonte: Próprio autor

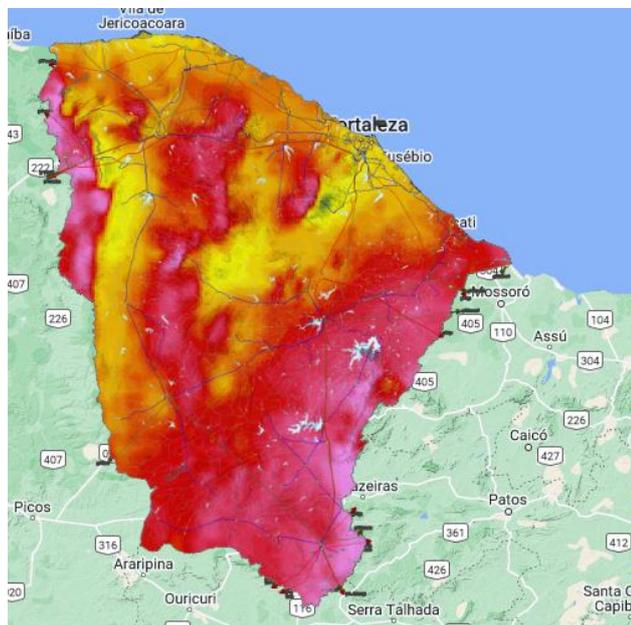
2.2.1 Avaliação do recurso solar

A avaliação do recurso solar para o estudo foi feita a partir do atlas solar do Ceará, desenvolvido pela fundação cearense de meteorologia e recursos hídricos (FUNCEME), em parceria com a secretaria da infraestrutura (SEINFRA), produziu o atlas solar do Ceará no intuito de consolidar o conhecimento sobre o potencial de energia solar do estado e de fornecer um instrumento de apoio às políticas de planejamento público e privado e de promoção de desenvolvimento econômico social.

O atlas consiste na apresentação de mapas climatológicos, conforme é apresentado na Figura 6. É possível através dele observar a irradiação solar incidente sobre o Ceará,

permitindo identificar a distribuição espacial e avaliar a variação sazonal dessa disponibilidade.

Figura 6- Mapa climatológico solar



Fonte: Atlas solar do Ceará

2.3 Projeto de extensão de rede elétrica

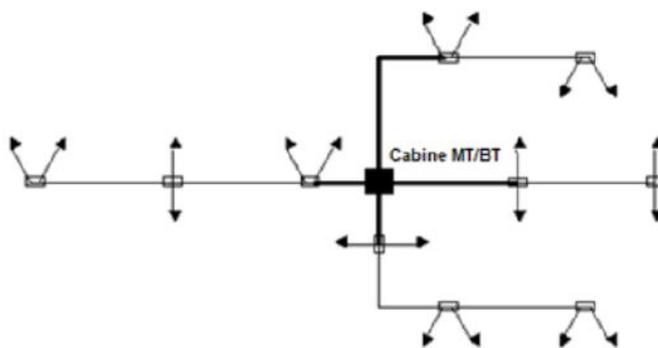
O projeto de extensão de rede são aqueles destinados a atender novas unidades consumidoras que implicam no prolongamento da rede de distribuição existente (NOTA TÉCNICA-07, 2016). A extensão de rede pode ser feita em redes de média tensão e redes de baixa tensão, essa última, que é o objeto de estudo do trabalho, é definida como a rede de distribuição secundária do sistema elétrico da Enel distribuição Ceará com tensão nominal de 220 V, entre fase e neutro, e 380 V entre fases.

De acordo com a especificação técnica da nº0285 da Enel distribuidora, os materiais e os equipamentos a serem utilizados no processo de extensão de rede devem seguir exclusivamente especificações técnicas da distribuidora, e admitir os critérios mínimos de dimensionamento técnico, assim como, menor custo global. A configuração da rede Baixa Tensão - BT deve ser radial simples, a tipologia da rede é apresentada na Figura 6.

A rede de baixa tensão pode ser distribuída em ligação monofásica, monofilar com retorno por terra, bifásica ou trifásica. O sistema monofilar com retorno por terra, que será abordado no trabalho, é uma forma de distribuição de energia elétrica em que apenas uma fase da linha tronco é ligada ao condutor metálico, isto é, apenas uma fase é usada e

o retorno da corrente é feito pela terra. O sistema permite usar apenas um arame de aço ou uma cordoalha de três arames de aço, um material resistente e que pode ser esticado com maior tensão de tração, e permite que o próximo poste esteja a 300 m, caso o condutor seja de aço e o terreno plano (RIBEIRO, 2003).

Figura 7- Tipologia da rede de BT



Fonte: Enel distribuidora

É importante destacar que extensão de rede se apresenta como uma tecnologia consolidada e amadurecida no cenário energético, tendo uma maior flexibilidade de expansão diante do crescimento da demanda energética. Porém, fatores como a dispersão populacional, as longas distâncias entre os pontos de origem da rede elétrica e do consumo, o elevado custo de investimento, o baixo número de consumidores por quilômetro, a baixa taxa de crescimento de demanda elétrica no local são barreiras para investimentos em extensão rede (ROCHA, 2010).

3. METODOLOGIA

Este capítulo apresenta os passos para realizar o dimensionamento da carga a partir das opções de fornecimento por meio da extensão da rede elétrica de distribuição ou por sistema fotovoltaico isolado, que necessariamente utiliza baterias.

3.1 Levantamento da demanda e consumo energético

Para o dimensionamento das opções de fornecimento acima citados, foi realizado, primeiramente, a análise do perfil de carga da unidade consumidora a ser atendida, assim como, o consumo diário e mensal da energia elétrica.

Foram consideradas a potência instalada e o fator de demanda para a determinação da potência demandada. De acordo com a especificação técnica nº 0124 da Enel, a carga (ou potência) instalada é a soma das potências nominais dos equipamentos elétricos instalados na unidade consumidora, em condições de entrar em funcionamento, expressa em (kW). Já o fator de demanda é razão entre a demanda máxima num intervalo de tempo especificado, e a carga total instalada na unidade consumidora, os valores do fator de demanda são diferentes para cada classe de equipamentos. Assim, conforme a equação (1) foi possível determinar a potência demandada para consumidor residencial (NISKIER, 1998).

$$P_d = f \cdot P_i \quad (1)$$

em que, P_d é a potência demandada (kW), f é o fator de demanda e P_i é a potência instalada.

O cálculo do consumo energético foi estimado mediante número de equipamentos, sua potência elétrica, o tempo diário de funcionamento e os dias de utilização por semana (PINHO et al.,2014). Para o cálculo de consumo de energia utilizou-se a seguinte Equação (2):

$$C_m = \frac{P_e \cdot N_d \cdot D_m}{1000} \quad (2)$$

em que, C_m é o consumo médio mensal (kWh/mês), P_e é a potência nominal do equipamento (W), N_d é o número médio de horas diárias de utilização do equipamento (h/dia) e D_m é o número médio de dias de utilização do equipamento, por mês (dias/mês).

3.2 Avaliação do atendimento a carga através do recurso solar

Nesta fase, buscou-se quantificar a irradiação solar incidente na região onde será analisada a aplicação de tecnologias de fornecimento de energia elétrica. Com Auxílio do Atlas solar do Ceará foi possível determinar a radiação solar média mensal da região em estudo.

Considerando a relação linear entre produção de energia e irradiação no dimensionamento de um sistema fotovoltaico, os dados de irradiação serão expressos em horas de sol pleno (HSP). Esta grandeza reflete o número de horas em que a irradiância solar deve permanecer constante e igual 1 kW/m², dada a irradiação incidente no dia (kW/m²), conforme a Equação (3), (Pinho et al. 2014).

$$HSP = \frac{\frac{kWh}{m^2} \cdot dia}{1kW/m^2} = h/dia \quad (3)$$

3.2.1 Dimensionamento do sistema fotovoltaico

Após a análise de cargas e o consumo energético da unidade consumidora em estudo serem concluídos, seguiu-se o dimensionamento do sistema fotovoltaico.

Inicialmente, estimou-se a potência necessária ao sistema solar fotovoltaico para atender a carga da UC, considerando o resultado da energia consumida obtido na equação (3), a potência do sistema deve ser determinada conforme a Equação (4):

$$P_{PFV} = \frac{Cd}{HSP \cdot Red_1 \cdot Red_2} \quad (4)$$

em que, P_{PFV} é a potência necessária para o painel fotovoltaico (W). Cd é a quantidade de energia consumida diariamente (W/dia). HSP são horas de sol pleno (h/dia). Red_1 (%) é o fator de redução da potência dos módulos devido a fatores ambientais e Red_2 (%) é o fator de redução da potência devido a perdas no sistema. Considerou-se o valor de 0,75 para Red_1 e 0,9 para Red_2 (GALDINO et al. 2014).

Uma vez conhecida a potência unitária do módulo ($P_{mód}$), especificado pelo fabricante, é possível determinar a quantidade de módulos para atender adequadamente a unidade consumidora, conforme a seguinte Equação (5).

$$n^{\circ} \text{ de módulos} = \frac{P_{PFV} \cdot 1000}{P_{mód}} \quad (5)$$

De forma a determinar a energia gerada pelo sistema fotovoltaico, considerou-se a irradiação média da região (kWh/m²/dia) obtido no atlas solar do Ceará, a potência unitária do módulo (W) e a energia a ser consumida no período de 30 dias. Nesse sentido, a partir da Equação (6) foi possível estimar a energia gerada pelo sistema.

$$Eg = P_{mód} \cdot HSP \cdot n^{\circ} \text{módulos} \cdot 30 \quad (6)$$

As grandezas elétricas como a corrente e a tensão sofrem influências diretas da irradiação e temperatura, tendo a irradiação interferência na corrente elétrica gerada pelo módulo, resultando em um aumento da corrente de curto-circuito, enquanto a tensão apresenta uma diminuição com o aumento da temperatura (SEGUEL, 2009). De acordo com a Equação (7), (8) e (9) é possível determinar as tensões para as temperaturas mínimas e máximas, e a tensão máxima de circuito aberto previstas para o módulo fotovoltaico.

$$Vmín_{Tmáx} = Vmp + (Tmáx - 25^{\circ}C) \cdot \alpha \quad (7)$$

$$Vmáx_{Tmín} = Vmp + (Tmín - 25^{\circ}C) \cdot \alpha \quad (8)$$

$$Vmáxoc_{Tmín} = Voc + (Tmín - 25^{\circ}C) \cdot \alpha \quad (9)$$

em que, $Vmín_{Tmáx}$ e $Vmáx_{Tmín}$ são as tensões mínimas e máximas para as temperaturas máximas e mínimas, $Vmáxoc_{Tmín}$ é tensão máxima considerando a tensão de circuito aberto, Vmp é a tensão de máxima potência, Voc é a tensão de circuito aberto e α é o coeficiente da variação da tensão em circuito aberto com a temperatura. Os valores de Vmp , $Tmáx$, $Tmín$, Voc e α são fornecidos pelo fabricante em condições de referência do módulo.

Para que o algoritmo de controle do inversor busque operar no ponto de máxima potência, é necessário que a tensão de entrada esteja dentro de uma faixa de operação. Portanto, os módulos devem ser arranjados de tal forma que essa faixa de operação seja garantida. Diante disso, o número máximo e mínimo de módulos em série pode ser obtido a partir da Equação (10) e (11). À baixas temperaturas, a tensão dos módulos tende a se aproximar a tensão circuito aberto, por isso, a tensão máxima de entrada do inversor deve

ser maior que a tensão de circuito aberto do módulo. O número máximo de módulos em série considerando a tensão máxima do circuito aberto do inversor é calculado a partir da Equação (12).

$$N^{\circ} \text{mín de mód} = \frac{Vmpp_mín_{Inv}}{Vmín_{Tmáx}} \quad (10)$$

$$N^{\circ} \text{máx de mód} = \frac{Vmpp_máx_{Inv}}{Vmáx_{Tmín}} \quad (11)$$

$$N^{\circ} \text{máx de mód} = \frac{Vmáx_{Inv}}{Vmáx_{OC_{Tmín}}} \quad (12)$$

sendo, $Vmpp$ é a faixa de tensão mínima e máxima na entrada do inversor e o $Vmáx_{Inv}$ é a tensão máxima do inversor, $Vmín_{Tmáx}$ e $Vmáx_{Tmín}$ são as tensões mínimas e máximas para as temperaturas máximas e mínimas, $Vmáx_{OC_{Tmín}}$ é a tensão máxima considerando a tensão de circuito aberto. Definido o número de módulos em série, o número de módulos em paralelo (13).

$$N^{\circ} \text{mód em paralelo} = \frac{P_{PFV}}{N^{\circ} \text{mód em série} \cdot P_{mód}} \quad (13)$$

3.2.2 Dimensionamento do inversor FV

O inversor deve ser capaz de fornecer a tensão e a corrente elétrica suficiente para suprir a demanda dos equipamentos que funcionam em corrente alternada. Dessa forma, para o dimensionamento do inversor FV deve-se ter em conta a potência máxima demandada pelo sistema e sua tensão nominal, bem como a tensão do banco de baterias e do conjunto de módulos ligados em série. Além disso, é recomendável o uso de inversores de onda senoidal (JIMENÉZ, 2017).

Segundo Pinho et al (2014), a potência do inversor deve ser igual ou superior a potência instalada, se houver grande probabilidade de que estas possam operar simultaneamente. Pois, garante a segurança do sistema nos momentos em que houver variação da demanda de energia em níveis mais altos, nos instantes de operação do inversor. O inversor deve fornecer uma tensão ou corrente alternada, com frequência, forma e amplitude compatíveis com as cargas que serão atendidas. Isto é, o inversor deve

apresentar a tensão de entrada igual à tensão CC do sistema (tensão do banco de baterias) e a tensão de saída em CA conforme a necessidade da carga que será atendida (ALVES, 2019).

Assim, para definir o inversor para compor o sistema, deve-se verificar a tensão de saída e a corrente de máxima potência dos módulos. Isto é, a corrente máxima do inversor deve ser superior a corrente de máxima potência do módulo. A compatibilidade entre a potência do painel fotovoltaico (PPFV) e a potência nominal do inversor (P_{inv}) é dado pela seguinte expressão (VILLA NOVA, 2018):

$$0,7 * P_{PFV} < P_{inv} < 1,2 * P_{PFV}$$

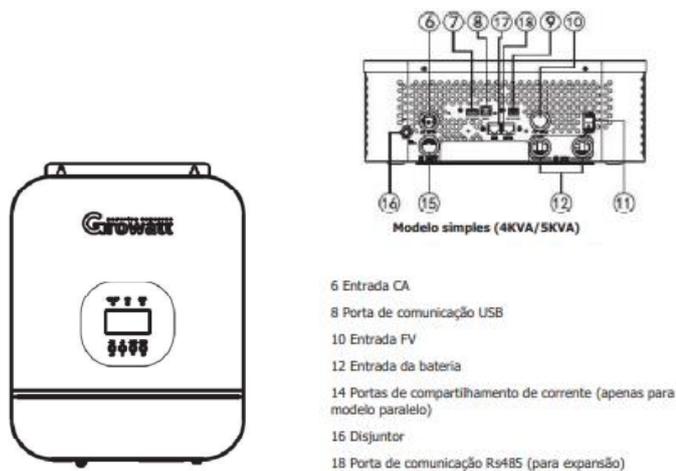
Conforme a Equação (14) é possível determinar a quantidade de inversores necessários para o projeto.

$$Inv = \frac{P_{inv}}{P_{PFV}} \quad (14)$$

3.2.3 Dimensionamento do controlador de carga

Hoje, os controladores são muitas vezes encontrados dentro do próprio inversor *off-grid* como pode ser observado na Figura 8. Portanto, o dimensionamento vai ser restrito ao inversor, sendo desnecessária essa etapa (ALDO, 2022).

Figura 8- Inversor integrado com um controlador de carga



Fonte: Aldo (2022)

3.2.4 Dimensionamento das baterias

Por se tratar de um sistema fotovoltaico isolado (*off grid*), torna-se essencial dimensionar adequadamente a capacidade de armazenamento das baterias. O número de dias de autonomia e a máxima profundidade de descarga da bateria são escolhas importantes para o dimensionamento, devendo garantir o fornecimento energia elétrica não só em períodos noturnos, dias chuvosos e nublados, mas também para intervalos maiores com radiação abaixo da média. Posto isto, a capacidade do banco de baterias pode ser definida pela seguinte Equação (15):

$$CB_{C20}(Wh) = \frac{Cd \cdot N}{Pd} \quad (15)$$

$$CBI_{C20}(Ah) = \frac{CB_{C20}}{V_{B.Baterias}}$$

sendo CB_{C20} a capacidade do banco de baterias em Wh para o regime de descarga em 20h, CBI_{C20} é capacidade de do banco de baterias em Ah, Cd é o consumo diário de energia, N o número de dias de autonomia, Pd é máxima profundidade de descarga da bateria, $V_{Baterias}$ (tensão nominal do conjunto de baterias).

Definida a capacidade da bateria, o número de baterias em paralelo pode ser calculado conforme a Equação (16).

$$N^{\circ} \text{ de baterias em paralelo} = \frac{CBI}{CBI_{bat}} \quad (16)$$

em que CBI_{bat} representa capacidade da bateria selecionada em Ah, no mesmo regime de descarga do valor calculado para CBI.

No caso da determinação da ligação em série, esta depende da tensão nominal do sistema, conforme a Equação (17).

$$N^{\circ} \text{ de baterias em série} = \frac{V_{B.Baterias}}{V_{bat}} \quad (17)$$

em que V_{bat} é a tensão da bateria selecionada, em volts. Diante disso, é possível determinar o número total de baterias para o sistema multiplicando o número de baterias em paralelo por número de baterias em série, de acordo com a Equação (18) (PAÚL; JIMÉNEZ, 2017).

$$N^{\circ} \text{ de baterias} = N^{\circ} \text{ de baterias em s\u00e9rie} \cdot N^{\circ} \text{ de baterias em paralelo} \quad (18)$$

3.3 Projeto da extens\u00e3o de rede

Nesta etapa, foram consideradas uma s\u00e9rie de normas e crit\u00e9rios para o dimensionamento da extens\u00e3o de rede el\u00e9trica em zonas rurais, estabelecidos pela companhia de energia el\u00e9trica, Enel Cear\u00e1.

3.3.1 Dimensionamento el\u00e9trico

Segundo a especifica\u00e7\u00e3o t\u00e9cnica n\u00b0 0285 da Enel, para a escolha da tens\u00e3o e sistema de fornecimento para a unidade consumidora, levou-se em conta as condi\u00e7\u00f5es do sistema el\u00e9trico existente nas proximidades, tanto na classe de rede baixa tens\u00e3o quanto na de rede m\u00e9dia tens\u00e3o. Avaliou-se tamb\u00e9m as atividades econ\u00f4micas nas proximidades da UC a ser atendida e as cargas das outras Ucs mais pr\u00f3ximas.

Conforme apresentado anteriormente, a demanda pode ser obtida atrav\u00e9s da multiplicação da pot\u00eancia instalada e o fator de demanda definidos no AP\u00cêndice 1.

Para o correto dimensionamento do condutor considerou-se a capacidade de condu\u00e7\u00e3o da corrente el\u00e9trica do condutor e a queda de tens\u00e3o m\u00e1xima permitida. A queda de tens\u00e3o m\u00e1xima permitida pode ser obtida a partir coeficiente de queda de tens\u00e3o em % de kVA x 100m (NTC-07, 2016).

3.3.2 Dimensionamento mec\u00e2nico

De acordo com a especifica\u00e7\u00e3o t\u00e9cnica n\u00b0 0285 da Enel, o intuito do dimensionamento mec\u00e2nico \u00e9 determinar os itens que fazem parte da estrutura, a fim de garantir estabilidade. Assim, para dimensionamento da estrutura considerou-se os seguintes itens: postes, a tra\u00e7\u00e3o de projeto de condutores, o peso da estrutura e condutores, a resist\u00eancia do solo, o espa\u00e7amento entre as estruturas e a montagem das estruturas (NTC-07, 2016).

3.3.3 Prote\u00e7\u00e3o e Seccionamento

Segundo a especifica\u00e7\u00e3o t\u00e9cnica n\u00b00285 de Enel, o objetivo da prote\u00e7\u00e3o e seccionamento \u00e9 garantir a seguran\u00e7a das instala\u00e7\u00f5es e as pessoas, assim como, a

qualidade de fornecimento de energia. Nesse sentido, para a proteção da rede contra possíveis sobrecorrente levou-se em conta o uso de disjuntores.

3.3.4 Aterramento

Conforme especificação técnica n°0285, para que o sistema de distribuição opere corretamente, é primordial que todos os equipamentos e partes metálicas das estruturas não destinadas a condução de corrente sejam aterrados. Para o estudo levou-se em conta o aterramento padrão para redes de baixa tensão.

3.4 Análise financeira do projeto

A análise financeira de um projeto tem o intuito de avaliar a viabilidade, os custos e os ganhos da implantação de projetos e/ou investimentos em geral. Para isso, torna-se fundamental a utilização de algumas variáveis econômicas para determinar a viabilidade financeira do projeto.

Dentre as principais variáveis econômicas para avaliar ambos os cenários propostos, é possível destacar o valor presente líquido (VPL), a taxa interna retorno (TIR) e o Payback Descontado.

3.4.1 Valor Presente Líquido

O valor presente líquido tem a finalidade de avaliar se o projeto é viável ou não, isso é possível quando todos os custos presentes no fluxo de caixa são colocados no período zero, através do uso da taxa mínima de atratividade (TMA), que é a taxa mínima disponível para a aplicação do capital, considerando o grau de risco empregado (ROCHA, 2010).

Esta variável utiliza todas as entradas e saídas de caixa num horizonte de tempo futuro, isto é, o VPL é a diferença entre os valores atualizados das entradas e saídas durante a vida útil do sistema implementado. Quanto mais positivo essa diferença, mais atrativo se torna o investimento (SILVEIRA, 2010). O VPL é definido pela Equação (19).

$$VPL = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} \quad (19)$$

em que, I_0 representa o investimento inicial, FC_t : é o fluxo de caixa de cada período t , i representa a taxa de desconto (TMA) esperada pelo investidor (% ao período), n é o período estimado para o projeto.

3.4.2 Taxa interna de retorno

A taxa interna de retorno é a taxa de desconto que quando utilizada zera o valor presente líquido, pode ser entendida como a remuneração do capital investido. Se o TIR for maior que TMA o projeto é considerado viável (NIPPES DE OLIVEIRA, 2019). Seu cálculo é feito a partir da Equação (20).

$$0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} \quad (20)$$

3.4.3 Payback Descontado

Payback descontado indica o tempo necessário para que o empreendimento dê retorno similar ao investimento inicial, ou seja, é o período necessário para recuperação do investimento inicial. Este método utiliza a taxa mínima de atratividade para analisar o momento exato que o projeto recupera o valor inicial do investido. Pode ser estimado de forma rápida através do cálculo *payback* não descontado (desconsiderado a taxa de juros).

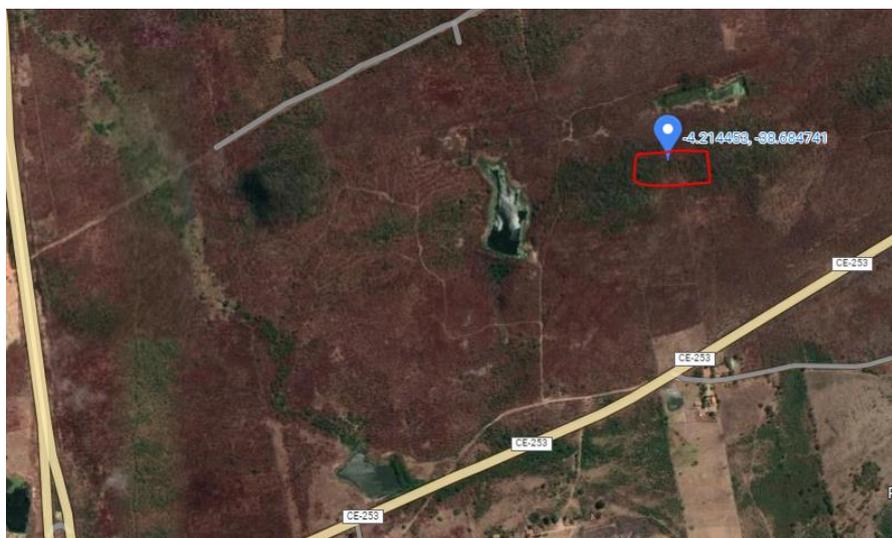
Desta forma, um empreendimento com um valor de *payback* descontado muito elevado acarreta um risco de investimento maior e leva mais tempo a amortizar o investimento realizado.

4. RESULTADOS OBTIDOS

O objetivo dessa seção é mostrar os resultados obtidos para as duas formas de atender a carga isolada. Há o dimensionamento do sistema fotovoltaico, considerando a potência unitária dos equipamentos e o consumo diário previsto para a unidade consumidora. Além disso, serão apresentados os custos estimados para a extensão da rede na área de concessão da Enel Ceará e para a aquisição dos equipamentos do sistema solar fotovoltaico.

Os sistemas avaliados serão instalados em uma residência no meio rural nos arredores da cidade de Acarape. A região possui uma latitude $4^{\circ} 21' 44''$ sul, e uma longitude de $38^{\circ} 68' 47''$ oeste e conta com uma temperatura de superfície de 26°C , conforme apresentado na Figura 9.

Figura 9- Localização da unidade consumidora



Fonte: Google maps

4.1 Levantamento da demanda e consumo energético

A estimativa da potência instalada foi realizada considerando o uso típico dos seguintes equipamentos domésticos: geladeira duas portas (60 W), lâmpadas fluorescentes compactas (11W), liquidificador (213W), TV (83W), notebook (20W), prancha (chapinha) (33W), ventilador (73W), tanquinho (70W), ferro de passar (1050W) e forno micro-ondas (1400W). A potência instalada é calculada com base na quantidade e potência dos equipamentos listados. Na tabela 1, do Apêndice 1, esses valores foram listados e somados, totalizando uma carga instalada de 3287 W. Ainda na tabela 1, calculou-se a potência demandada, utilizando a equação (1) e os fatores de demanda

típico, retirados da (normatização técnica-04, 2016) O valor obtido para a potência de demanda foi de 2507,87W.

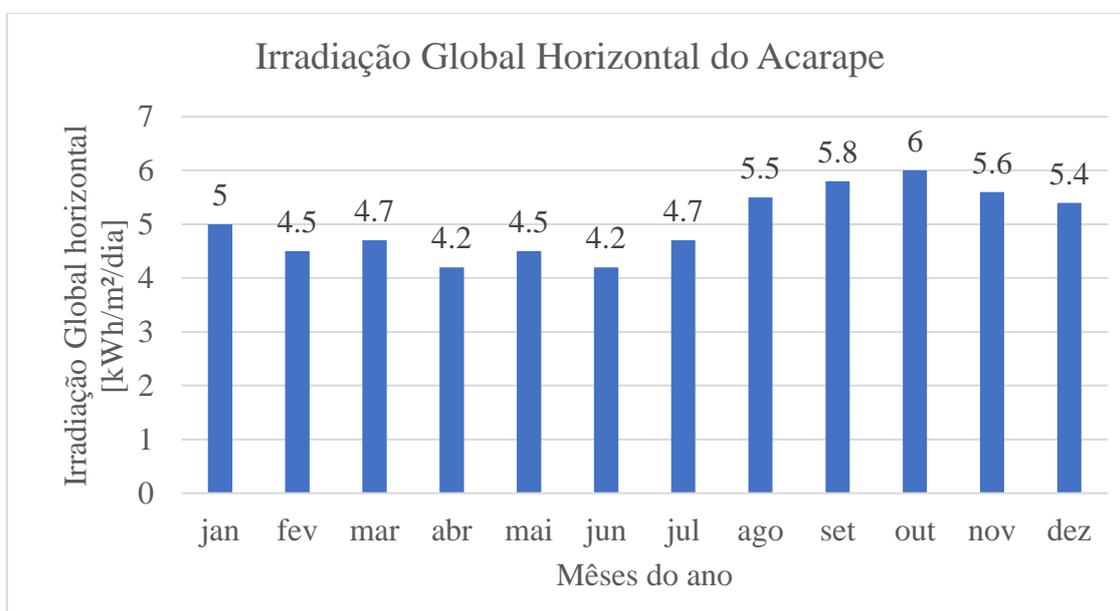
O consumo médio mensal estimado para unidade consumidora é de 252,17 kWh/m, determinado a partir da equação (2), dos valores calculados da tabela 1 (Apêndice 1) e da estimativa de uso de cada equipamento, conforme pode ser visto com mais detalhes na tabela 2 (Apêndice 1).

4.2 Avaliação do atendimento a carga através do recurso solar

De acordo com a Figura 9, é possível observar a variação da irradiação solar média mensal da região em estudo. Com uma irradiação máxima registrada de 6,04 kWh/m²/dia, no mês de outubro, e uma mínima de 4,2 kWh/m²/dia, no mês de abril, confirma-se, o potencial energético para aproveitamento da energia solar fotovoltaica. Vale salientar que a finalidade do sistema fotovoltaico é suprir as necessidades energéticas durante todo o ano, nesse sentido, deve-se considerar o menor índice de irradiação durante o ano.

Para isso, considerou-se o plano inclinado de 10°, condição que maximiza a média do mês com menor insolação. Diante disso, determinou-se uma irradiação incidente de 4,2 kWh/m²/dia.

Figura 10- Estimativa Irradiação solar diária (média mensal) em Acarape



Fonte: Adaptado do Atlas solar de Ceará

Uma vez definida a menor irradiação incidente, seguiu-se o cálculo de horas de sol pleno conforme a Equação (3).

$$HSP = \frac{4,2 \text{ kWh}}{1 \text{ kW/m}^2} = 4,2 \text{ h/dia}$$

4.3 Dimensionamento do sistema fotovoltaico

Para a determinar a potência necessária que o sistema fotovoltaico deve dispor para atender a unidade consumidora considerou-se o consumo diário máximo de 9,11 kWh/dia, calculado através da Equação (2) e do valor de horas de sol pleno determinado pela Equação (3). Conforme a Equação (4), a potência do sistema será:

$$P_{PFV} = \frac{Ec}{HSP \cdot Red1 \cdot Red2} = \frac{9,11 \text{ kWh/dia}}{4,2 \text{ h/dia} \cdot 0,75 \cdot 0,9} = 3,21 \text{ kWp}$$

Para suprir as necessidades da unidade consumidora, o sistema fotovoltaico deve dispor de uma potência de 3,21 kWp. Diante disso, foi selecionado o módulo da marca UP-M285P, da fabricante Upsolar, cujas características são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1- Especificações Técnicas do módulo UP-M285P

Dados	Valores
Potência do painel	285Wp
Tensão de Máxima Potência (Vmp)	32,0 V
Corrente de Máxima Potência (Imp)	8,91 A
Corrente de Curto-Circuito (Isc)	9,2 A
Tensão em aberto (Voc)	40,1V
Eficiência	17,5%
Coefficiente de temperatura da tensão	-0,096 V/°C
Temperatura Nominal da Célula (TNOC/NOCT)	+45/-2 °C
Dimensões do Painel	1640x992x35 mm
Nº de Células e Tipo	60 (6x10), Silício Policristalino

Fonte: Elaboração própria a partir da NeoSolar (2022)

Feito a escolha do módulo, foi possível determinar a quantidade de módulos necessários para entregar a potência determinada, conforme a Equação (5).

$$\text{N}^\circ \text{ de módulos} = \frac{P_{PFV} * 1000}{P_{\text{mód}}} = \frac{3210 \text{ Wp} \cdot 1000}{285 \text{ Wp}} = 12 \text{ módulos}$$

Com isto, já é possível definir a energia média gerada pelo sistema fotovoltaico, conforme a Equação (6).

$$E_g = 4,2h/d \cdot 285Wp \cdot 12 \cdot 30 = 430,920 \text{ kWh/mês}$$

Para determinar o número mínimo e máximo dos módulos em série, considerou-se primeiramente a limites mínimos e máximos da variação da tensão do inversor que estará conectado ao painel, pois a tensão do conjunto de módulos ligados em série deve estar dentro da faixa de variação da tensão do inversor. Diante disto, para determinar a tensão mínima de operação dos módulos considerou-se o funcionamento destes à 45°C, conforme a Equação (7), para determinar a tensão máxima, considerou o funcionamento dos módulos à -2°C, conforme a Equação (8). A tensão máxima considerando a tensão de circuito aberto foi obtido a partir da Equação (9).

$$V_{mpTmáx} = 32 \text{ V} + (45 - 25^\circ\text{C}) \cdot (-0,096) = 30,08 \text{ V} \quad (7)$$

$$V_{mpTmín} = 32 \text{ V} + (-2 - 25^\circ\text{C}) \cdot (-0,096) = 34,6 \text{ V} \quad (8)$$

$$V_{mpVoc} = 40,1 \text{ V} + (-2 - 25^\circ\text{C}) \cdot (-0,096) = 42,7 \text{ V} \quad (9)$$

4.4 Dimensionamento Inversor FV

Para o dimensionamento do inversor considerou-se a condição de compatibilidade entre o módulo fotovoltaico e o inversor, cuja definição diz que a corrente máxima de entrada do inversor deve ser maior que a corrente de máxima potência fornecida pelo módulo. Assim, escolheu-se o inversor senoidal *off grid* SPF3500-ES, da marca Growatt, integrado com um controlador de carga MPPT de 4,5 kWp. As especificações técnicas do inversor são mostradas na tabela 2. O controlador acoplado dispõe de uma potência

máxima de arranjo solar de 4500W, uma corrente máxima de carregamento de 80A e uma eficiência de 97%.

Tabela 2- Especificações técnicas do inversor

Dados	Valores
Tipo de onda	Senoidal pura
Modelo	SPF3500-ES
Tensão da bateria	48 Vcc
Tensão de saída	220 Vca
Faixa de tensão MPPT	120Vcc~430Vcc
Tensão máxima de circuito aberto	450 Vcc
Corrente máxima de carregamento	80 A
Potência nominal	3500
Eficiência	97%

Fonte: Próprio autor (Neosolar, 2022)

De modo a confirmar a compatibilidade do inversor fotovoltaico e o módulo solar considerou a seguinte relação:

$$0,7 * P_{PFV} < P_{inv} < 1,2 * P_{PFV}$$

$$2249W < 3500W < 3855W$$

Feita a relação, confirma-se a compatibilidade entre do inversor selecionado e os módulos fotovoltaico. De acordo com a Equação (14), definiu-se a quantidade de inversor para o sistema FV.

$$N^{\circ}Inv = \frac{3,5kW}{3,2kW} = 1 \text{ inversor}$$

Definido as especificações técnicas do inversor selecionado, na Tabela 2, foi possível determinar o número mínimo e máximo de módulos em série a partir das equações (10) e (11), levando em conta a faixa de tensão de entrada MPPT do inversor, que varia na faixa de 120Vcc a 430Vcc. O número máximo de módulos considerando a tensão de circuito aberto na entrada do inversor, é calculado conforme a Equação (12).

$$N^{\circ}mín \text{ de mód} = \frac{120 V}{30 V} = 4 \text{ módulos} \quad (10)$$

$$N^{\circ}máx \text{ de mód} = \frac{430}{34,6} = 12 \text{ módulos} \quad (11)$$

$$N^{\circ}máx \text{ de mód} = \frac{450}{42,7} = 11 \text{ módulos} \quad (12)$$

Feito isto, foi possível definir o número de módulos em paralelo, conforme a Equação (13).

$$N^{\circ}mód \text{ em paralelo} = \frac{3213}{6 \cdot 285} = 2 \text{ módulos} \quad (13)$$

4.5 Dimensionamento do Banco de Bateria

Para o dimensionamento das baterias, considerou-se o modelo FGCL150, da marca Fulguris, tipo chumbo-ácido com tensão nominal de 12 V, e uma capacidade 220 Ah (C20), cuja especificações técnicas são apresentadas na tabela 3. Estimou-se uma profundidade de descarga de 50%, tendo em conta a faixa de valores para baterias de ciclo profundo, e ponderando a vida útil do mesmo, e dias de autonomia igual a 2, tendo em conta a grande disponibilidade de radiação solar na região. A partir da Equação (15) calculou-se a capacidade de acumulação da bateria.

$$CB_{C20}(Wh) = \frac{9109,5 \cdot 1}{0,5} = 18218 Wh$$

$$CBI_{C20}(Ah) = \frac{36436Wh}{48} = 379,54 Ah$$

Após o cálculo da capacidade de acumulação da bateria, com vista a configuração do sistema de armazenamento, o número de baterias em paralelo e em série foram determinados a partir as Equações (16) e (17), respectivamente.

$$N^{\circ} \text{ de baterias em paralelo} = \frac{759,08Ah}{220Ah} = 2 \text{ baterias}$$

$$N^{\circ} \text{ de baterias em série} = \frac{48V}{12V} = 4 \text{ baterias}$$

Com número de baterias em série e em paralelo definidos, de acordo com a equação (18), definiu-se a quantidade de baterias totais do sistema.

$$N^{\circ} \text{ Total de baterias} = 4 \cdot 2 = 8 \text{ baterias}$$

Em suma, o sistema FV da unidade consumidora em estudo contará com 8 baterias de ciclo profundo, conectadas em 2 blocos em paralelo de 4 ligadas em série, de 220 Ah, formando um banco de baterias que opera com uma tensão de 48 Vcc.

Tabela 3- Especificações técnicas da bateria

Dados	Valores
Tensão Nominal	12 Vcc
Marca e Modelo	Fulguris FGCL220
Capacidade C20	220 Ah
Tipo	Chumbo-ácido

Fonte: Próprio Autor (Neosolar, 2022)

4.6 Projeto de Extensão de rede

De acordo com o item 3.3, que mostra as normas da concessionária, foi realizado as especificações necessárias para a extensão da rede. A potência instalada estimada é de 3,3 kW, definiu-se o fornecimento em rede de baixa tensão, em ligação monofilar com retorno por terra, com uma tensão nominal de 220 V. A potência disponibilizada pela Enel distribuição Ceará para essa faixa de potência instalada é de 3,52 kVA.

Para definir as características do condutor a ser usado, inicialmente, considerou-se uma capacidade de condução de corrente 80 A e uma queda de tensão de 3 %, que corresponde a máxima queda de tensão permissível em rede de baixa tensão. Diante disso, definiu-se a utilização condutores isolados multiplexados pré-reunidos de alumínio, com uma seção nominal do condutor de 16 mm², uma espessura de isolamento de 1,2 mm, um peso total de 651 kg/km e uma resistência elétrica máxima a 20°C de 1,099 Ω/km.

Uma vez que a residência está localizada a uma distância acima de 400 m do poste da rede de baixa tensão, definiu-se o uso 10 postes de 9 m de altura, do tipo B, com resistência nominal entre 75 daN.

Além disso, estabeleceu-se uma máxima tração de projeto de 138 daN, definiu-se ainda uma secção mínima do ramal de ligação de 2,5 mm², 20 mm (1/2) do eletroduto de PVC rígido do ramal de entrada.

Para que seja realizada a quantificação e o devido registro da geração e o consumo da energia elétrica, determinou-se o uso da caixa de policarbonato, com tampa com ressalto, com dimensão 280x175x75mm para a medição. Em relação a proteção do sistema definiu-se o uso do disjuntor com uma potência nominal de 10 kVA, uma corrente máxima de 16 A, tipo 2P, com 1 circuito e uma secção mínima de condutores de 57 mm. Por fim, para o aterramento determinou-se o uso do condutor com uma secção mínima de 16 mm² de aço cobreado e uma haste de terra a uma distância superior a 1m da base do poste.

4.7 Estimativa de custo do sistema fotovoltaico e da extensão de rede elétrica

A determinação do valor do investimento foi mediante os custos com os componentes do sistema fotovoltaico e a extensão de rede elétrica. Para o sistema fotovoltaico, envolveu o custo com módulos solares, inversor/controlador de carga e baterias, além disso, também foram considerados os custos adicionais envolvendo os condutores, sistemas de proteção, diodos de bloqueio, e a instalação do sistema. Para a extensão de rede elétrica, foram considerados os custos com condutores, postes, medidores e dispositivos de proteção.

4.7.1 Custo do sistema fotovoltaico

No processo de custo do sistema fotovoltaico, a aquisição dos equipamentos representa a maior parte da despesa. Considerou-se ainda, os custos adicionais em relação a outros itens, como, condutores, conectores, entre outros, no valor de 1% do custo total dos equipamentos e o custo de instalação no valor de 40% custo total dos equipamentos.

A partir de pesquisas a empresas ligadas ao processo de venda e instalação dos equipamentos fotovoltaico, como, Solnor Energy, Solar&Sol, NeoSolar, Meu Gerador, Aldo, foi possível analisar e fazer um comparativo dos preços apresentados no mercado, e consequentemente determinar o custo dos equipamentos necessários, conforme apresentado na tabela 4.

Tabela 4- Preço dos equipamentos

Descrição	Número de unidades	Valor (R\$)
Painel fotovoltaico -285W	12	7.728,00
Bateria estacionária solar- 220 Ah	8	12.792,00
Inversor/controlador de carga	1	6.411,93
Custos adicionais		269,31
Custo de instalação		10.772,77
Total		37.974,01

Fonte: Próprio autor

4.7.2 Custo de Extensão de rede elétrica

Tendo em conta um prolongamento da rede elétrica de 400 m até a unidade consumidora, foi realizado o levantamento do custo dos condutores, da estrutura (postes), dos medidores e demais componentes correlacionados. Diante disso, com pesquisas feitas junto a concessionária, conclui-se que para este tipo de instalação o custo é de aproximadamente R\$30.000,00.

4.8 Análise de viabilidade econômica

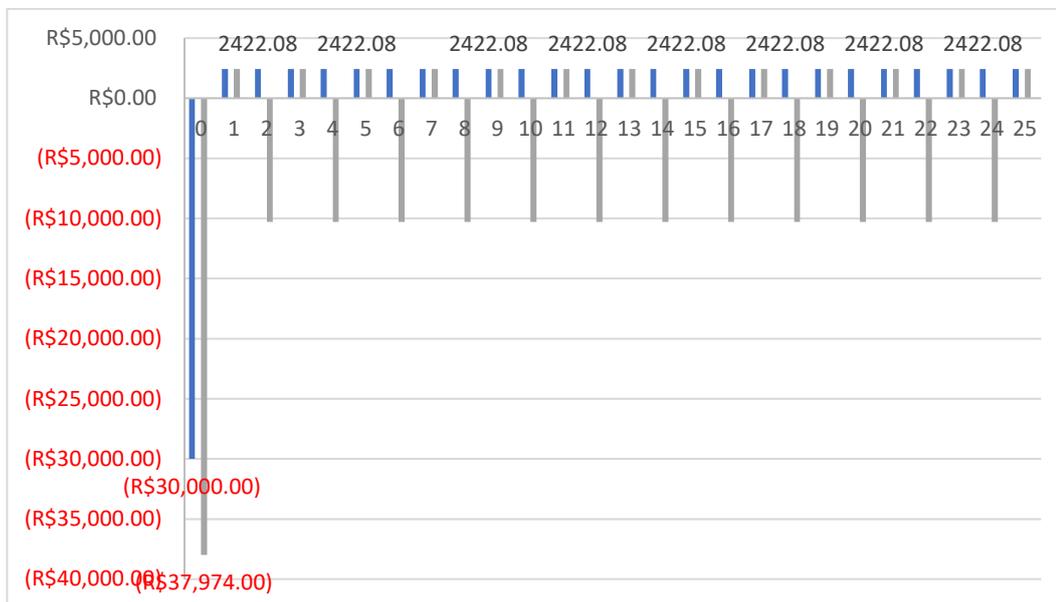
Nesta etapa, comparou-se o custo de implantação do sistema solar fotovoltaico e da extensão de rede elétrica. Para isso, determinou-se as variáveis financeiras a fim de perceber qual a melhor alternativa de investimento.

Para o cálculo de viabilidade econômica das tecnologias de fornecimento, foi considerado um período de 25 anos, período correspondente, em geral, ao tempo estimado de vida útil dos módulos fotovoltaicos, porém inferior ao tempo de vida da extensão de rede elétrica. Foi definido ainda uma Taxa Mínima de Atratividade – TMA de 12% ao ano, um custo de energia de R\$0,80, um consumo de energia mensal de 252,3 kWh/mês, e um investimento inicial para o projeto de extensão de rede de R\$30.000,00, e para o projeto de sistema fotovoltaico isolado de R\$37.974,00.

Com auxílio das funções de análise econômica disponível no Excel, foi possível determinar o Valor Presente Líquido – VPL, a Taxa Interna Retorno – TIR, o Payback

descontado e o fluxo de caixa. O fluxo de caixa de ambas as tecnologias é apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Fluxo de caixa das tecnologias de fornecimento



Fonte: próprio Autor

Com base nos resultados da tabela 1 e a tabela 2 do (Apêndice 2), percebe-se que ambos os investimentos apresentam um Payback acima do tempo de vida útil, em que o VPL apresenta um valor de retorno negativo de -R\$11.145,76 para extensão de rede e -R\$19.757,13 para o Sistema Fotovoltaico isolado - SFI, ou seja, com uma TMA de 12 % ao ano o investimento terá um tempo mínimo de retorno superior a vida útil do sistema. A TIR para o investimento em extensão de rede foi de 6% e para o SFI foi de 4%, ambas menor que a TMA considerada inicialmente de 12%, isso demonstra que o projeto não consegue gerar um retorno maior que o investimento aplicado inicialmente.

Dessa forma, verifica-se que a instalação de ambos os investimentos na unidade consumidora é inviável, com uma perda de capital de -R\$11.145,76 e -R\$19.757,13, respectivamente. Isso justifica a pouca disponibilidade das concessionárias em atender as residências em zonas rurais, seja pelo alto custo de manutenção, assim como o baixo consumo verificado. Porém, no âmbito do programa luz para todos, em que o intuito é proporcionar energia elétrica a população do meio rural, o governo federal, mesmo que o investimento tenha uma taxa interna de retorno menor que a taxa mínima de atratividade, disponibiliza recursos junto a agentes executores para custear o investimento.

5. CONCLUSÕES

O principal objetivo do presente trabalho foi a elaboração de um comparativo entre viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico isolado e a extensão de rede elétrica em uma residência localizada na região rural de Acarape. Estimou-se um consumo médio mensal de 252,3kWh/mês. Com o auxílio do atlas solar, foi possível obter os dados climatológicos da região e realizar o dimensionamento dos equipamentos que compõem SFI como, módulos fotovoltaicos, inversores, controladores de carga e baterias. Para o dimensionamento de extensão de rede elétrica recorreu-se a uma série de normas técnicas e especificações técnicas estabelecidos pela Enel Distribuição para zonas rurais.

Para atender as cargas da unidade consumidora, o sistema fotovoltaico deve dispor de uma potência de 3,21 kWp, distribuídos em 12 módulos, permitindo uma geração de energia de 395,01kWh/mês. Foi definido o uso de um inversor com uma potência nominal de 3500W, e uma eficiência de 93%. Definiu-se ainda, o uso de 8 baterias de 12V, com uma capacidade de armazenamento de 379, 56 Ah.

Para o projeto de extensão de rede elétrica, definiu-se o uso da rede de baixa tensão, com uma ligação monofilar com retorno por terra. Um sistema de ligação que atende perfeitamente a demanda da residência, ideal para o local de implantação, pois, o seu sistema simplificado permite uma redução de custos. Para atender a carga instalada de 3,3 kW estimada para a UC, é necessária uma potência disponibilizada pela Enel distribuição Ceará de 3,52 kVA e uma tensão nominal de 220 V.

Em suma, os resultados da avaliação econômica de projetos feitos pelos indicadores de viabilidade econômica, como VPL, TIR e Payback descontado, mostram que o projeto de sistema fotovoltaico isolado e o projeto de extensão de rede são inviáveis. Mas, por se tratar de um programa de universalização do acesso e uso energético, cabe ao governo apoiar por meio de incentivos os agentes executores para a realização do investimento. Nesse sentido, para a região em estudo o projeto de extensão de rede é a melhor solução.

Entretanto, para o âmbito do programa luz para todos, o fornecimento através do sistema fotovoltaico recai no atendimento em locais remotos ou áreas de difícil acesso, distantes da rede elétrica. Nesse caso, o alto custo associado a extensão de rede justifica o investimento por essa tecnologia. Contudo, em locais onde já possuem passagem da rede elétrica nas proximidades, o atendimento a carga por esse meio será mais vantajoso economicamente.

REFERÊNCIAS

ANEEL. **Nota Técnica nº 0062/2018.** Disponível em: <https://antigo.aneel.gov.br/consultas-publicas>. Acesso em: 2 de junho de 2022.

ATLAS EÓLICO E SOLAR DO CEARÁ. **IRRADIAÇÃO GLOBAL HORIZONTAL MENSAL.** Disponível em: < <http://atlas.adece.ce.gov.br>>. Acesso em: 7 de maio de 2022.

ALVES, T.F. **Estudo e Análise da Eficiência de Inversores Solar.** 2019. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Tocantins – UFT, Palmas, 2019.

ENEL, **Normas Técnicas.** Disponível em: <https://www.eneldistribuicao.com.br/ce/normastecnicas.aspx>. Acesso em: 30 de abril de 2022.

ENEL. Especificação técnica nº0124. **Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária de Distribuição.** Disponível em: <https://www.eneldistribuicao.com.br/ce/normastecnicas.aspx>. Acesso em: 30 de abril de 2022.

ENEL. Especificação técnica nº0126. **Fornecimento de Energia Elétrica a Prédios de Múltiplas Unidades Consumidoras.** Disponível em: <https://www.eneldistribuicao.com.br/ce/normastecnicas.aspx>. Acesso em: 30 de abril de 2022.

ENEL. Especificação técnica nº0133. **Sistema individual de geração de energia com fonte intermitente - SIGFI.** Disponível em: <https://www.eneldistribuicao.com.br/ce/normastecnicas.aspx>. Acesso em: 30 de abril de 2022.

ENEL. Especificação técnica nº0285. **Critérios de Projetos de Redes de Distribuição Aéreas de Média e Baixa Tensão.** Disponível em: <https://www.eneldistribuicao.com.br/ce/normastecnicas.aspx>. Acesso em: 30 de abril de 2022.

ENEL. Especificação técnica nº263. **Cálculo de Demanda para Medição de Cliente em Baixa Tensão**. Disponível em: <https://www.eneldistribuicao.com.br/ce/normastecnicas.aspx>. Acesso em: 30 de abril de 2022.

GRUPO DE ESTUDO DE ENERGIA SOLAR -GTES. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 2 ed. Rio de Janeiro. CRESESB. p 1-530,2014.

MACIEL, I. A. A. **Avaliação do uso de energia solar fotovoltaica para a eletrificação rural Brasileira**. 2019. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Energias Renováveis). Universidade Federal do Ceará – UFC, Fortaleza, 2019.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. **Material de Operacionalização do Programa Luz Para Todos**. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/destaques/programa-de-eletrificacao-rural/normativos/arquivos/manual-lpt-2018-a-2022.pdf> . Acesso em: 24 de junho de 2022.

NEOSOLAR. **Painel Fotovoltaico**. Disponível em: https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-285w-upsolar-up-m285p.html?gclid=Cj0KCQjw06OTBhC_ARIsAAU1yOUI4gs9UgelcTy0LywnCkF3E_nb_InLyATXcehCjFnodsw9aKGeKxt4aAoSxEALw_wcB. Acesso em: 12 de maio de 2022.

NEOSOLAR. **Inversor**. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/loja/inversor-senoidal-epever-ipower-plus-ip2000-22-2000w-24-220v.html>. Acesso em: 18 de junho de 2022.

NEOSOLAR. **Baterias**. Disponível em: < <https://www.neosolar.com.br/loja/bateria-estacionaria-fulguris-fgcl220-220ah.html>>. Acesso em: 18 de junho de 2022.

NEOSOLAR. **Controlador de Carga** . Disponível em: < <https://www.neosolar.com.br/loja/controlador-carga-mppt-30a-12-24v-epever-xtra-3210n.html>>. Acesso em: 18 de junho de 2022.

NISKIER,J.; MANCINTYRE, A. J. **Instalações Elétricas**. 1. ed. Rio de Janeiro. 2000.v. 1.

OLIVEIRA, G. N. **Análise de Custo de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede e Isolados**. 2019. 79 f. Projeto de graduação (graduação em Engenharia elétrica). UFRJ. Rio de Janeiro 2019.

PAÚL, J.; JIMÉNEZ, V. **Projeto e Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico Isolado/Conectado à Rede para Atender a Demanda de Irrigação de Uva**. 2017. Trabalho de conclusão (Bacharel em Engenharia de Energia). UNILA. Foz do Iguaçu. 2017.

ROCHA, J. S. **Análise do Potencial de Aplicação de Sistemas Híbridos como Alternativa para Eletrificação do Meio Rural: estudo de caso para Penecoste-CE**. 2010. Dissertação (Mestrado em ciências Físicas Aplicadas).UEC. Fortaleza. 2010.

SEGUEL, J. I. L. **Projeto de um Sistema Fotovoltaico Autônomo de Suprimento de Energia usando Técnica MPPT e Controle Digital**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica. UFMG. Minas Gerais. 2009.

SENDI. **Parâmetros Típicos e Custos de Referenciais de Ativos em Redes Aéreas de Distribuição de Energia Elétrica**. Disponível em: <https://www.cgti.org.br/publicacoes/parametros-tipicos-e-custos-referenciais-de-ativos-em-redes-aereas-de-distribuicao-de-energia-eletrica/>. Acesso em: 27 de Maio de 2022

SILVEIRA, F. C. **Estudo Comparativo Entre A Viabilidade De Implantação De Sistema Híbrido Eólico-Diesel E De extensão De Rede Elétrica Em Regiões Remotas Produtoras De Arroz Por Sistema De Inundação**. 2010. 31f. Monografia (Bacharel em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SOLENERG. **COMO DIMENSIONAR UM GERADOR FOTOVOLTAICO COM BATERIAS** - Disponível em: <www.solenerg.com.br>. Acesso em: 17 de junho de 2022.

VILA NOVA, B. R. **Dimensionemto de um Sistema Híbrido Isolado de Geração de Energia Elétrica para a Comunidade de Novo Destino em São Tomé e Príncipe**. 2018. TCC(Bacharel em Engenharia de Energias). UNILAB. Acarape. 2018.

APÊNDICE

APÊNDICE 1 – CÁLCULO DA DEMANDA ENERGÉTICA E A ESTIMATIVA DE CONSUMO ENERGÉTICO DA UNIDADE CONSUMIDORA

Tabela 1 – Cálculo da demanda

Aparelho elétrico	Qde	Potência unitária (W)	Potência Total (W)	Fator de Demanda	Potência Demandada
Lâmp. Fluorescente	5	11	55	0,59	32,45
Geladeira	1	200	200	1	200
Liquidificador	1	213	213	1	213
Televisor	1	85	85	1	85
Notebook	1	35	35	1	35
Prancha (chapinha)	1	33	33	0,7	23,1
Ventilador	2	73	146	0,92	134,32
Tanquinho	1	70	70	1	70
Ferro de passar	1	1050	1050	0,7	735
Forno micro-ondas	1	1400	1400	0,7	980
TOTAL			3287		2507,87
Potência Total Demandada			2,5 kW		
Potência Instalada Total			3,3 kW		

Fonte: Próprio autor

Tabela 2 - Consumo Energético

Aparelhos elétricos	Potência média (W)	Dias estimados de uso (dias/mês)	Utilização Média (h/dia)	Consumo máximo diário* (kWh/dia)	Consumo médio mensal (kWh/mês)
Geladeira 2 portas	200	30	24h	4,80	144,0
Lâmp. fluor. (5x11W)	55	30	6h	0,33	10,0
Liquidificador	213	15	15 min	0,05	0,8
TV	85	30	6h	0,51	15,3
Notebook	35	30	10h	0,35	10,5
Prancha (chapinha)	33	20	30 min	0,02	0,4
Ventilador (2x 73W)	146	30	10h	1,46	43,8
Tanquinho	70	12	1h	0,07	0,8
Ferro de Passar	1050	12	1h	1,05	12,6
Forno micro-ondas	1400	30	20 min	0,47	14,1
Total	3287			9,11	252,3

Fonte: Próprio autor

***Consumo máximo diário** só acontece quando houver coincidência de todos os equipamentos serem utilizados ao mesmo tempo

APÊNDICE 2 – Cálculo de indicadores de viabilidade econômica

Tabela 1 – cálculo de indicadores para extensão de rede elétrica

Anos	Fluxo de caixa (R\$)	Fluxo descontado	Saldo de investimento
0	-R\$30,000.00	-R\$30,000.00	-R\$30,000.00
1	2422.08	R\$2,162.57	-R\$27,837.43
2	2422.08	R\$1,930.87	-R\$25,906.56
3	2422.08	R\$1,723.99	-R\$24,182.57
4	2422.08	R\$1,539.28	-R\$22,643.30
5	2422.08	R\$1,374.35	-R\$21,268.94
6	2422.08	R\$1,227.10	-R\$20,041.84
7	2422.08	R\$1,095.63	-R\$18,946.22
8	2422.08	R\$978.24	-R\$17,967.98
9	2422.08	R\$873.43	-R\$17,094.55
11	2422.08	R\$696.29	-R\$16,398.26
12	2422.08	R\$621.69	-R\$15,776.58
13	2422.08	R\$555.08	-R\$15,221.50
14	2422.08	R\$495.61	-R\$14,725.89
15	2422.08	R\$442.50	-R\$14,283.39
16	2422.08	R\$395.09	-R\$13,888.29
17	2422.08	R\$352.76	-R\$13,535.53
18	2422.08	R\$314.97	-R\$13,220.56
19	2422.08	R\$281.22	-R\$12,939.34
20	2422.08	R\$251.09	-R\$12,688.25
21	2422.08	R\$224.19	-R\$12,464.07
22	2422.08	R\$200.17	-R\$12,263.90
23	2422.08	R\$178.72	-R\$12,085.18
24	2422.08	R\$159.57	-R\$11,925.61
25	2422.08	R\$142.47	-R\$11,783.13
TMA		12%	
VPL		-R\$11,145.76	
TIR		6%	
Payback descontado		Acima dos 25 anos	

Fonte: Próprio autor

Tabela 2 - Tabela 1 – cálculo de indicadores sistema fotovoltaico

Anos	Fluxo de caixa (R\$)	Fluxo descontado	Saldo de investimento
0	-R\$37,974.00	-R\$37,974.00	-R\$37,974.00
1	2422.08	R\$2,162.57	-R\$35,811.43
2	-10277.92	-R\$8,193.49	-R\$44,004.92
3	2422.08	R\$1,723.99	-R\$42,280.93
4	-10277.92	-R\$6,531.80	-R\$48,812.74
5	2422.08	R\$1,374.35	-R\$47,438.39
6	-10277.92	-R\$5,207.11	-R\$52,645.50
7	2422.08	R\$1,095.63	-R\$51,549.87
8	-10277.92	-R\$4,151.08	-R\$55,700.95
9	2422.08	R\$873.43	-R\$54,827.53
10	-10277.92	-R\$3,309.22	-R\$58,136.74
11	2422.08	R\$696.29	-R\$57,440.45
12	-10277.92	-R\$2,638.09	-R\$60,078.54
13	2422.08	R\$555.08	-R\$59,523.46
14	-10277.92	-R\$2,103.07	-R\$61,626.53
15	2422.08	R\$442.50	-R\$61,184.02
16	-10277.92	-R\$1,676.55	-R\$62,860.57
17	2422.08	R\$352.76	-R\$62,507.81
18	-10277.92	-R\$1,336.54	-R\$63,844.35
19	2422.08	R\$281.22	-R\$63,563.13
20	-10277.92	-R\$1,065.48	-R\$64,628.61
21	2422.08	R\$224.19	-R\$64,404.42
22	-10277.92	-R\$849.39	-R\$65,253.81
23	2422.08	R\$178.72	-R\$65,075.09
24	-10277.92	-R\$677.13	-R\$65,752.22
25	2422.08	R\$142.47	-R\$65,609.75
TMA		12%	
VPL		-R\$65,609.75	
TIR		4%	
Payback descontado		Acima dos 25 anos	

Fonte: Próprio autor