



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE
CONTROLE E AUTOMAÇÃO - CECAU**



MARIA RAQUEL ELIAS PINTO

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: APLICAÇÃO NA PRODUÇÃO LEITEIRA

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E
AUTOMAÇÃO**

Ouro Preto, 2021

MARIA RAQUEL ELIAS PINTO

**ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: APLICAÇÃO NA
PRODUÇÃO LEITEIRA**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Diógenes Viegas Mendes
Ferreira

Coorientador: Paulo Marcos de Barros
Monteiro

Ouro Preto
Escola de Minas – UFOP
Dezembro/2021



FOLHA DE APROVAÇÃO

Maria Raquel Elias Pinto

Energia Solar Fotovoltaica: Aplicação na produção leiteira

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira de Controle e Automação

Aprovada em 10 de janeiro de 2022

Membros da banca

Me. Diógenes Viegas Mendes Ferreira - Orientador
Prof. Dr. Paulo Marcos de Barros Monteiro - Coorientador
Profa. Dra. Adrielle de Carvalho Santana - Professora Convidada
Prof. Dr. Agnaldo José da Rocha Reis - Professor Convidado

Diógenes Viegas Mendes Ferreira, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 10/01/2022



Documento assinado eletronicamente por **Diogenes Viegas Mendes Ferreira, TECNICO DE LABORATORIO AREA**, em 10/01/2022, às 14:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0259681** e o código CRC **3F6D0329**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Kênia e Fernando, por me proporcionarem todas as condições de realizar este trabalho, sempre me compreendendo e me dando força nos momentos mais difíceis. Aos meus irmãos, Didito e Rafa por serem imprescindíveis e por me apoiarem em todos os momentos da minha vida. À Tutty, Nilma e a Neusa que são pessoas importantes na minha história e ajudaram na minha formação como ser humano. Às minhas cunhadas, Tatalia e Lôra, por toda confiança. Aos meus familiares que são presentes em minha vida e que estiveram sempre disponíveis para tudo que eu precisava. Aos meus padrinhos Paulinho, Lelinha (in memoriam), Dinha Leia e João Paulo que me deram todo amor e suporte a vida inteira. À Tice (in memoriam), por ter sido um exemplo de moralidade e por tudo que ela sempre fez por mim. E ao vô Pedrinho e tio Joãozinho, por terem me feito galo doido. Minha família, meu guia! Obrigada a todos os Elias e aos Pinto por todo amor. Ao tio Geraldinho por ter sido um norte em minha escolha de curso e pela disponibilidade em sempre me orientar.

À Universidade Federal de Ouro Preto por ter sido a melhor escolha que eu fiz, uma verdadeira escola de vida. Aos amigos que fiz nesse longo trajeto. Hans, Sthefany, Vanilton, Wilker, Diego, Rafa, Maria Emília, Caio e todos aqueles que me ajudaram de todas as formas, eu jamais teria conseguido sem vocês.

Aos meus professores que acreditaram no meu potencial e me ajudaram a ter condições de estar formando. Um agradecimento em especial aos professores Paulo Monteiro e Diógenes, por não terem medido esforços em me ajudar nessa reta final. Um muito obrigado a todos os servidores envolvidos na manutenção da universidade. O trabalho de vocês é fundamental. Ter acesso a uma universidade pública, gratuita e de qualidade, fez com que eu me tornasse quem eu sou.

Aos meus melhores amigos que me acompanham a vida toda desde o pré, Marina e André, vocês são tudo pra mim. As minhas amigas de república, verdadeiras irmãs que eu tive durante meus anos em Ouro Preto. E a minha casinha Bem-te-vi. Não consigo nem explicar o tanto que todas vocês são importantes pra mim. Foi um prazer fazer parte dessa história e sempre vou ter vocês no meu coração. Obrigada por tudo, pessoal!

Não poderia esquecer dos meus amores: Mufasa (in memoriam), Capitu, Elvis, Mamaia e meu gato Severino, animais que fizeram parte da minha vida e me mantiveram sã, durante toda caminhada.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo aprofundar no estudo das aplicações da energia solar, fazendo uso principalmente em moradias rurais, avaliando a estrutura do território brasileiro e as vantagens do uso de energias renováveis, a proposta do tema consistiu em mostrar os benefícios advindos da implantação de um sistema solar misto em uma produção leiteira, mesmo em pequena escala. A proposta do projeto teve como motivação a solução de problemas recorrentes no fornecimento de energia em uma produção leiteira de pequena escala, fazendo com que o produtor sofresse perdas financeiras e na qualidade do gado. O sistema fotovoltaico misto, por possuir um backup de energia, foi uma possibilidade encontrada para que o refrigerador não parasse de funcionar durante a interrupção na rede, mantendo a conservação do leite armazenado. O projeto proposto objetivou-se a solucionar o problema enfrentado por produtores rurais que sofrem com a perda da produção leiteira devido a acidentes frequentes na rede de transmissão que contam com uma dificuldade de reestabelecer a conexão devido à natureza isolada da habitação, longe dos centros urbanos. Por meio do sistema misto fotovoltaico foi possível obter um retorno financeiro devido a ligação com a concessionária de energia, ao mesmo tempo que a confiabilidade da produção foi garantida por um banco de baterias que manteve a geração nos momentos de queda da conexão. O dimensionamento foi feito comparando as fórmulas encontradas na literatura, mas com as eventuais adaptações consideradas na instalação do projeto. O *payback* do sistema foi calculado e as considerações em relação ao investimento a longo prazo foram discutidas a fim de analisar a viabilidade econômica do projeto. O retorno financeiro considerou também a perda de leite anual que ocorre sem a instalação de um backup de energia. Demonstrou-se, neste estudo, uma preocupação com o meio ambiente e com o bem estar social, expondo os benefícios do uso de fontes limpas de energia.

Palavras-chave: Energia solar, tecnologia solar fotovoltaica, produção de leite, sistema misto de energia e habitação rural.

ABSTRACT

This work aimed to deepen the study of the applications of solar energy, making use mainly in rural homes, assessing the structure of the Brazilian territory and the advantages of using renewable energies, the theme's proposal consisted in showing the benefits arising from the implementation of a mixed solar system in dairy production, even on a small scale. The project proposal was motivated by the solution of recurring problems in energy supply in a small-scale dairy production, causing the producer to suffer financial and cattle quality losses. The mixed photovoltaic system, for having an energy backup, was a possibility found so that the refrigerator would not stop working during the interruption in the network, maintaining the conservation of stored milk. The proposed project aimed to solve the problem faced by rural producers who suffer from the loss of milk production due to frequent accidents in the transmission network and who have the difficulty of re-establishing the connection due to the isolated nature of housing, far from the centers urban areas. Through the mixed photovoltaic system, it was possible to obtain a financial return on the connection with the energy concessionaire, while production reliability was guaranteed by a battery bank that maintained generation in times of disconnection. The dimensioning was done comparing the formulas found in the literature, but with any adaptations considered in the installation of the project. The system payback was calculated and considerations regarding long-term investment were discussed in order to analyze the economic feasibility of the project. The financial return also considered the annual milk loss that occurs without installing an energy backup. In this study, a concern with the environment and social well-being was demonstrated, exposing the benefits of using clean energy sources.

Keywords: Solar energy, photovoltaic solar technology, milk production, mixed energy system and rural housing.

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 Atuação do diodo by-pass no caso de sombreamento de células.....	18
Figura 2.2 - Curvas Características para ligações em série e em paralelo das células fotovoltaicas.....	24
Figura 2.3 - Curva característica VxI	25
Figura 2.4 - Curva VxI para diferentes radiações e temperaturas.	26
Figura 2.5 - Índice de radiação solar no território brasileiro.	27
Figura 2.6 -Curva VxI para diferentes horários ao longo do dia.....	28
Figura 2.7 - Variação da potência gerada por um módulo fotovoltaico ao longo do dia	28
Figura 2.8 -Fator de espaçamento de acordo com a Latitude.....	29
Figura 3.1 Mapeamento da propriedade rural	36
Figura 3.2 Caminho do sol na localização escolhida	41
Figura 3.3 Sistema misto fotovoltaico com inversor solar híbrido	45
Figura 3.4 Ligação entre o banco de baterias e o inversor	49
Figura 3.5 Recomendação para cabeamento da bateria.....	53
Figura 3.6 Ligação completa do sistema com dispositivos de proteção considerados.....	53

LISTAS DE TABELAS

Tabela 2.1 - Dados do dimensionamento do consumo diário.....	23
Tabela 3.1 Valores mensais das Horas de Sol Pleno para cidade de Guanhões MG.....	35
Tabela 3.2 -Irradiancia Global Horizontal.....	35
Tabela 3.3 Levantamento do consumo mensal da propriedade.....	37
Tabela 3.4 Historico do consumo anual em kWh/dia.....	38
Tabela 3.5 Potência máxima do sistema de acordo com a média de consumo anual.....	40
Tabela 3.6 - Cálculo da potência considerando a taxa mínima de consumo	40
Tabela 3.7 -Comparativo entre paineis	42
Tabela 3.8 - Cálculo de módulos necessários sem considerar eficiência	42
Tabela 3.9 - Dados da placa escolhida para o sistema.....	43
Tabela 3.10 - Dados do inversor escolhido	46
Tabela 3.11 Levantamento de consumo sistema emergencial alimentado pela bateria nos momentos de queda de energia.....	47
Tabela 3.12 Dados e dimensões do banco de baterias.....	49
Tabela 3.13 Capacidade de descarga da bateria	49
Tabela 3.14 Cálculo do custo do sistema.....	54
Tabela 3.15 Valores mensais da conta de energia antes do sistema ser instalado.....	55
Tabela 3.16 Cálculo do desconto mensal com o sistema fotovoltaico	56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1- Índice pluviométrico e de temperatura anual para a cidade de Guanhões MG ...	34
Gráfico 3.2 Horas de sol pleno para a cidade de Guanhões MG	35
Gráfico 3.3 Irradiancia média em Wh/m ² .dia	36
Gráfico 3.4 Curva de carga ao longo do dia	44
Gráfico 3.5 Valor do investimento no sistema ao longo dos anos.....	55
Gráfico 3.6 Gráfico Geração x Consumo	56
Gráfico 3.7 Economia gerada considerando o investimento e a manutenção do sistema ao longo dos anos	57

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1. Contextualização.....	10
1.2. Objetivos.....	13
1.2.1 Objetivos específicos.....	13
1.3. Metodologia	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Componentes do sistema solar fotovoltaico	14
2.1.1. Painéis Fotovoltaicos.....	14
2.1.1.1. Painel solar fotovoltaico de silício monocristalino	16
2.1.1.2. Painel solar fotovoltaico de silício policristalino	16
2.1.1.3. Filme fino	17
2.1.2 Diodos de proteção.....	17
2.1.3. As baterias	18
2.1.4. O inversor.....	19
2.1.5. O controlador de carga	20
2.1.6. Conversores CC-CC.....	21
2.1.7. Outros componentes.....	21
2.2. Dimensionamento do sistema	22
2.2.1. Consumo do sistema.....	22
2.2.2 Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos	23
2.2.2.1 Curvas características.....	23
2.2.2.2 Radiação local	25
2.2.2.3 Sombreamento.....	29
2.2.2.4 Inclinação do painel	30
2.2.3 Dimensionamento das baterias.....	30
2.2.4 Dimensionamento do Inversor	32
2.2.5 Dimensionamento do Controlador de Carga.....	32
3. ESTUDO DE CASO	33
3.1. Descrição da propriedade e produção local	33
3.2. Taxas de radiação e características geográficas.....	34
3.3. Levantamento do consumo	37
3.4. Projeto.....	40
3.4.1. Dimensionamento dos componentes do sistema.....	40
3.4.1.1. Painéis: inclinação, sombreamento, quantidade de módulos	40

_3.5.	Inversor.....	43
_3.6.	Banco de Baterias.....	47
_3.7.	Controlador de carga	49
_3.8.	Ligações entre os componentes.....	50
3.9.	Calculo de investimento e payback.....	54
3.9.1.	Consideração tarifaria a longo prazo.....	57
4.	CONCLUSÃO.....	59
4.1.	Sugestão de projetos futuros	59

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

A energia solar é uma fonte considerada limpa, inesgotável e sustentável. Por transformar a energia luminosa provinda do sol em eletricidade, é adequada para abastecer zonas remotas, já que evita o gasto excessivo com linhas de transmissão quando se trata de uma instalação em pequena escala, podendo contar com sistemas a bateria. As propriedades rurais podem aproveitar de seus benefícios principalmente quando se é levado em conta a duração de um sistema após sua instalação e a facilidade de manutenção dos equipamentos.

As vantagens econômicas provindas do uso desta fonte estão também no gasto mensal, uma vez que o proprietário passa a produzir sua própria energia e não fica suscetível as mudanças de tarifas impostas pela concessionária distribuidora de energia. Outro fator importante a ser considerado é a eficiência dos painéis que mantem seu rendimento alto, mesmo após anos de uso. As fontes renováveis são uma alternativa positiva tanto para o ambiente quanto para a sociedade em geral, evitando o uso de poluentes e de combustíveis fósseis.

Em uma pesquisa apoiada pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário em parceria com o Instituto Interamericano de Cooperação para Agricultura e o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), divulgada pela Empresa Brasil de Comunicação (EBC) em 2015, no Brasil calcula-se que 36% da população esteja concentrada em zonas rurais (AGÊNCIA BRASIL, 2015).

A pesquisa também aponta uma carência de políticas públicas nos territórios rurais, pois estas são desenvolvidas pensando em territórios urbanos, o que muitas vezes não se aplica a zonas mais afastadas da cidade.

Entre os problemas enfrentados pelas zonas rurais está o fornecimento de necessidades básicas como energia elétrica, bombeamento de água, centrais de telecomunicações e sistemas de sinalização. Lugares remotos são de difícil acesso para a geração tradicional de energia que consiste em grandes usinas construídas em locais distantes do consumidor e linhas de transmissão que levam a energia onde se faz necessária. A geração distribuída tem crescido bastante no Brasil e no mundo. Este modelo consiste no uso de geradores descentralizados e próximos aos locais de consumo. As fontes de energia solar fotovoltaica e eólica são as fontes alternativas com maior potencial para utilização na geração distribuída de eletricidade (VILLALVA, 2015).

Segundo Villalva (2015):

Não muito tempo atrás a energia solar fotovoltaica no Brasil era empregada exclusivamente em pequenos sistemas isolados ou autônomos, instalados em locais que não eram atendidos pela rede elétrica, em regiões de difícil acesso ou onde a instalação de linhas de distribuição de energia elétrica não é economicamente viável (VILLALVA, 2015).

Os Sistemas autônomos fotovoltaicos são ideais quando se trata de levar energia elétrica a comunidades rurais. Em 2003, o programa Luz Para Todos do Governo Federal aplicou esse tipo de energia a muitas residências.

Durante a execução do Programa Luz para Todos (LPT), foram identificadas diversas situações em que as localidades a serem atendidas encontravam-se distantes das redes de distribuição de energia elétrica existentes, com difícil acesso, baixa densidade populacional e condições ambientais que inviabilizavam a construção de redes convencionais.

Essas dificuldades técnicas e ambientais levaram à análise de outras formas de atendimento, como a utilização de geração descentralizada e fontes renováveis de energia, compatíveis com a realidade local, e a construção de pequenos trechos de redes de distribuição (minirredes), quando necessário (ELETROBRAS, 2017).

Com uma insolação diária variando entre 4500Wh/m² e 6000Wh/m², o território brasileiro é privilegiado para a exploração da energia solar. A quantidade de energia que poderia ser produzida é estimada em 200 GW, levando em conta a dimensão do país e a taxa de irradiação. Praticamente todo território é apto a produzir energia com eficiência, embora a potência varie de acordo com a localização da instalação. De acordo com os dados levantados pelo Portal Solar (2021) “[...]o uso da energia solar no Brasil corresponde a 1,7% de toda a matriz energética brasileira, sendo a energia solar residencial responsável por 72,6%, comércio e serviços (17,99%) e pela energia solar rural (6,25%)” .

Esses dados demonstram o quanto o mercado rural ainda pode ser explorado, já que apesar de representar uma boa porção do território do país somente uma pequena parte da energia solar instalada total gerada pelo Brasil está presente nesse meio.

Com a escolha adequada do equipamento e seu posicionamento, até mesmo os lugares menos ensolarados melhoram o rendimento da produção.

Além dos benefícios óbvios para a qualidade de vida de parte da população rural que não tem acesso à eletricidade, a utilização de sistemas fotovoltaicos é altamente flexível quanto às possibilidades de instalações de seus painéis. É uma opção promissora e altamente viável. Seus painéis podem ser colocados sobre telhados e fachadas de residências, ou mesmo espaços abertos de diferentes dimensões e que podem ser localizados à distância dos centros de

consumo.

Para os pequenos produtores rurais que já têm a conexão estabelecida com a rede de energia, um sistema fotovoltaico misto pode ser a solução para os recorrentes problemas na rede. Estes contam com um banco de baterias ou uma fonte de energia secundária que trazem confiabilidade e autonomia ao sistema para que se o fornecimento de energia na rede for interrompido por algum acidente na linha de transmissão, o produtor não tenha prejuízos. A parte do sistema que atua autonomamente pode manter o fluxo de energia nos equipamentos mais importantes, como, por exemplo, os resfriadores responsáveis por armazenar o leite.

A falta de energia é um dos principais responsáveis pela perda da produção leiteira. Após a ordenha, o leite precisa manter-se em temperatura adequada, dependendo de resfriadores. Com a falta de energia esse equipamento acaba por não cumprir o seu papel e, assim, todo o leite armazenado nele é perdido. O alimento passa a ser inviável para o consumo e tem de ser descartado, gerando prejuízo financeiro ao produtor.

O problema passa a ser ainda maior quando o produtor não consegue fazer a ordenha por não conseguir manter o leite em suas condições ideais. A qualidade e a produção do gado podem sofrer por longos períodos. A vaca lactante que não tem seu leite retirado corre o risco de desenvolver a mastite pelo acúmulo no peito. A infecção é uma das doenças mais frequentes que podem acometer o rebanho e de maior impacto econômico já que demanda gastos com remédios, veterinários e faz com que a produção leiteira se reduza significativamente por meses.

A pecuária leiteira é um setor representativo na economia nacional, sendo o Brasil um dos maiores produtores de leite do mundo. Pelo valor nutritivo e a representação em diversos derivados é um dos principais alimentos na dieta humana.

A pecuária leiteira é dividida em vários níveis organizacionais e tecnológicos, desde pequenas propriedades rurais até grandes cooperativas e laticínios (WILLERS et al. 2014 apud ALMEIDA et al. 2018).

A Instrução Normativa N°76 traz as regras estabelecidas para a produção e conservação do leite cru. Para as propriedades rurais que são fornecedoras de leite para indústria, o leite deve ser armazenado a no máximo 4°C e só pode ser mantido no estabelecimento por até 48 horas (BRASIL, 2018).

O sistema fotovoltaico proposto foi pensado para manter a produção mesmo com a queda de energia da rede. Para que um sistema fotovoltaico cumpra a sua funcionalidade é necessário

considerar as características do lugar onde será instalado. O dimensionamento correto da energia consumida é fundamental para garantir que o sistema seja eficiente e que consiga suprir as necessidades dos proprietários rurais.

1.2. Objetivos

No presente trabalho objetivou-se a instalação de um sistema misto fotovoltaico para solucionar o problema da ocasional falta de energia em uma pequena produção de leite localizada na zona rural do município de Guanhães, Minas Gerais. Por ser uma cidade com uma parte representativa da população em zona rural, o setor agropecuário influencia na economia local. A produção leiteira pode ser encontrada em pequena e média escala em várias propriedades.

O foco é o desenvolvimento do projeto de instalação de painéis solares e a verificação da viabilidade financeira de sua execução, levando em conta que além de injetar energia na rede, trazendo crédito perante a concessionária de energia e suprimindo o consumo local, o banco de baterias do sistema vai evitar o prejuízo acarretado pelos danos na linha de transmissão e demora para o restabelecimento da energia.

1.2.1. Objetivos específicos

- Analisar a função de cada componente do sistema fotovoltaico misto, identificando como melhor dimensioná-los, trazendo sua máxima eficiência.
- Solucionar o problema da queda de energia em uma produção leiteira, usando um banco de baterias para armazenar a energia e garantir a autossuficiência e a confiabilidade do sistema.
- Projetar um sistema fotovoltaico misto para um ambiente rural.
- Calcular o investimento e o *payback*, fazendo um levantamento econômico da viabilidade da solução.
- Discorrer sobre os benefícios a longo prazo do projeto, contando com a fixação da tarifa de energia ao longo dos anos, sem interferência da inflação energética.

1.3. Metodologia e estrutura do trabalho

O trabalho foi dividido em duas partes. Na primeira, foi feita uma análise qualitativa e teórica, revisando todos os elementos que são aplicáveis ao projeto. A segunda consistiu em uma análise quantitativa e o projeto em si.

Na análise qualitativa, a revisão teórica trouxe os dados, conceitos e informações de cada componente utilizado na construção de um sistema fotovoltaico misto. Foi feita também uma revisão do dimensionamento dos equipamentos que fizeram parte do sistema de energia.

A segunda parte trouxe o projeto aplicado a uma propriedade rural em específico, que estava dentro das características propostas e já definidas. Além disso, nesta mesma parte foi feita a descrição deste mesmo ambiente. A análise quantitativa trouxe o gasto energético da propriedade, todo o cálculo necessário para implantação do sistema solar fotovoltaico, uma previsão do *payback* do investimento conforme as tarifas vigentes e a economia total após a instalação do projeto.

Para o dimensionamento do sistema foram utilizados *softwares* para o cálculo da irradiação solar no local da instalação. Esses podem ser acessados online e já possuem dados obtidos de bases solarimétricas já existentes. Calculou-se o posicionamento de cada módulo fotovoltaico de forma a obter a melhor eficiência energética possível. Informações específicas do projeto em questão como localização, norte geográfico, ângulo de incidência dos raios solares, entre outros dados importantes para a implantação do projeto, estão descritas nessa parte.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo tem-se o princípio do funcionamento dos módulos fotovoltaicos e os conceitos que são necessários para a compreensão de como é feita a conversão da energia luminosa para energia elétrica. Foi feito um comparativo entre as curvas características da geração de energia dos módulos e descreveu-se a funcionalidade dos principais componentes do sistema e como eles foram dimensionados.

2.1 Componentes do sistema solar fotovoltaico

O funcionamento adequado do sistema fotovoltaico leva em conta diferentes fatores e uma análise plena do consumo da energia do local a ser aplicado. Para seu dimensionamento foi necessário conhecer as taxas de insolação local, a curva de carga utilizada pelos consumidores (para isso foi necessário avaliar a potência de cada equipamento elétrico e seus respectivos tempos de uso), além das características geográficas da região como: a latitude, o norte geográfico, entre outros.

No projeto foi preciso certificar que a instalação estava em local seguro, onde nem pessoas e nem animais pudessem acessar livremente. Outra preocupação revista foi se havia sombreamento no local da instalação. A inclinação do painel é importante para que o aproveitamento da energia seja máximo.

2.1.1. Painéis Fotovoltaicos

As características e as composições de um painel fotovoltaico interferem diretamente no dimensionamento de um projeto fotovoltaico. A qualidade do material afeta sua eficiência, o que pode significar uma economia bastante expressiva ao longo de sua vida útil. Quanto mais eficiente um painel, menor a área que ele ocupará em relação a outro que tenha uma eficiência mais baixa e mais Watts ele gerará por metro quadrado. A eficiência, dada em porcentagem, é um quesito muito importante para avaliar o rendimento do painel. O valor de rendimento é a razão entre a quantidade de energia do sol que atinge o painel e a quantidade que é transformada em energia elétrica disponível para o consumo.

Desde o descobrimento do efeito fotovoltaico em 1839, por Becquerel, até os dias de hoje, testes são feitos com diversos tipos de materiais a fim de aumentar a geração de energia proveniente da transformação da energia luminosa em energia elétrica.

Os primeiros dispositivos que poderiam ser considerados células solares surgiram em 1883 por C.E. Fritz e eram fabricados em selênio. Na década de 1950, as primeiras células fabricadas a partir do silício cristalino surgiram. Para a época, sua conversão de energia era relativamente alta, com 6% de eficiência e atingindo 5mW com a área de 2cm². Nos últimos 60 anos, diversas tecnologias a base de silício foram desenvolvidas fazendo com que o material dominasse o mercado e a produção mundial (PINHO, 2014).

Cerca de 80% dos painéis fotovoltaicos utilizados no mundo são baseados em alguma variação de silício e 85% dos sistemas de energia solar fotovoltaica instalados em casas e empresas ao longo do globo utilizaram a tecnologia baseada em silício em 2018 (PORTAL SOLAR, 2018). Os arranjos (ou painéis) fotovoltaicos são compostos de módulos fotovoltaicos combinados, que por sua vez são formados por conjuntos de células fotovoltaicas. Estas podem ter diferentes formatos ou tamanhos. Cada célula é constituída de um material semicondutor tetravalente que fica entre uma dopagem de átomos trivalentes que formam a camada denominada p e outra dopagem de átomos pentavalentes que são a camada n. Essa formação de junta é chamada de pn e é responsável pela conversão da energia, já que é o que possibilita o movimento de cargas que formam o campo elétrico quando a célula capta o fóton proveniente do sol.

Apesar das placas de silício, tanto monocristalino como policristalino, dominarem o mercado, há outras tecnologias comercializadas. Estas são baseadas em filmes finos de telureto de cádmio, disseleneto de cobre índio e gálio, silício amorfo hidrogenado, silício microcristalino e silício crescido em fitas. Em desenvolvimento estão as células fotovoltaicas multijunção de alta eficiência baseadas em corantes ou polímeros.

Cada material possui vantagens e desvantagens e se diferem nos quesitos de absorção de luz, custo de produção, conversão de energia luminosa, entre outros.

A importância do silício na produção de placas é relevante pois este tem sido explorado de diversas formas. Placas formadas por silício monocristalino e policristalino são as mais comuns de se encontrar no mercado. Elas se diferem em custo e eficiência.

2.1.1.1. Painel solar fotovoltaico de silício monocristalino

Sendo a tecnologia mais eficiente atinge a faixa de eficiência de 15% a 22%. Suas características visuais são bem definidas pela cor uniforme e cantos tipicamente arredondados. Sua fabricação é feita a partir de um único cristal de silício ultrapuro que é recortado formando lâminas de silício individuais. Estas são tratadas e transformadas em células fotovoltaicas cujo formato arredondado otimiza o espaço aproveitável do painel. A matriz de células fotovoltaicas tem formação em série e em paralelo (PORTAL SOLAR, 2018).

Os painéis monocristalinos acabam por precisar de uma área menor para gerar a mesma quantidade de energia do que os demais modelos. Isso se deve a sua alta eficiência e podem ser priorizados em caso de projetos que tenham pouco espaço disponível. Eles possuem vida útil superior a 30 anos e funcionam melhor do que os painéis de silício policristalinos mesmo em condições de pouca luz.

Suas desvantagens são expressadas pelo preço e processo de fabricação. Os processos para a fabricação de silício monocristalino são os de Czochralski (CZ) ou Float-Zone (FZ). O método de Czochralski é mais utilizado, pois apesar do Float-Zone obter um silício de qualidade superior, este é demasiadamente dispendioso e tem contribuído mais para a demonstração de células de silício de elevada eficiência. No método CZ o cristal cilíndrico de silício é obtido bem lentamente de um cadinho com silício policristalino fundido. (PINTO, 2008).

O processo resulta em grandes lingotes cilíndricos, cujos quatro lados são cortados a fim de que sejam retiradas lâminas. Boa parte do silício não é aproveitada naquela célula, precisando ser reciclada. Isto consiste em uma grande desvantagem do processo.

2.1.1.2. Painel solar fotovoltaico de silício policristalino

Estes painéis se diferem dos monocristalinos por serem feitos a partir do silício fundido em blocos, sendo então formados por diversos cristais, o que o faz ser denominado policristalino. Visualmente, apresentam formato quadrado e um aspecto mais azulado. O processo de fabricação é mais fácil, o que torna seu custo muito menor. A eficiência é ligeiramente mais baixa, ficando entre 14% e 20% (PORTAL SOLAR, 2018).

Após a fundição os blocos são fatiados para se tornarem células e sua vida útil é similar aos monocristalinos.

Sua grande vantagem está no silício residual gerado, que é menor. Mas como desvantagem é necessário ressaltar que este tipo de painel produz menos energia para a mesma área ocupada, do que seu semelhante, o monocristalino. Isso se deve a redução da sua eficiência.

2.1.1.3. Filme fino

Menos utilizados do que os citados anteriormente, os painéis de filme fino podem ser de diversos outros tipos de materiais como telureto de cádmio, cobre índio e gálio seleneto (CIS/CIGS) ou até mesmo de silício na forma de silício amorfo.

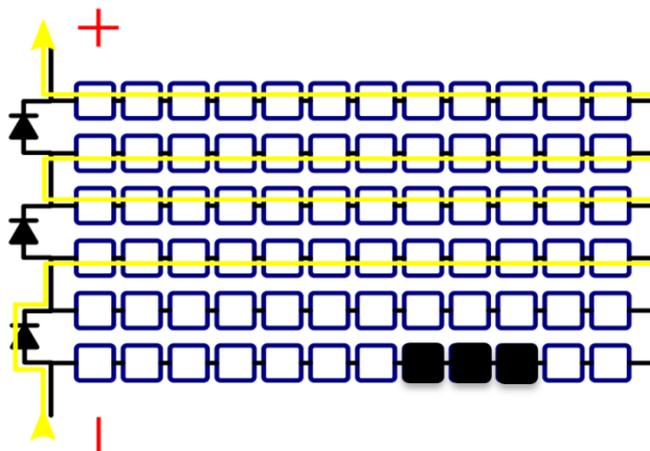
São conhecidos também como células fotovoltaicas de película fina (TFPV) e sua eficiência média possui valores em torno de 7% a 13%. Em 2015, chegaram a alcançar 16%, uma eficiência similar aos painéis de silício policristalino. No mercado, chegam a ocupar cerca dos 20% dos painéis utilizados (PORTAL SOLAR, 2018).

2.1.2 Diodos de proteção

Em casos de problemas de sombreamento ou defeitos internos na construção das placas fotovoltaicas, um recurso comum que pode ser integrado aos módulos para garantir a eficiência e qualidade no rendimento são os diodos de proteção. Eles têm o objetivo de atuar como um circuito alternativo ligando o diodo em antiparalelo com um grupo de células. Esse mecanismo faz com que a tensão na célula defeituosa ou sombreada assumam o valor e polaridade da tensão direta do diodo. O diodo passa então a dividir corrente com o grupo de células e evita o aquecimento e fluxo reverso no módulo ou no arranjo de módulos (NUAYED, 2019).

A figura 3.1 mostra a atuação de um diodo by-pass em uma placa com 3 células sombreadas e a importância da atuação deste componente no sistema.

Figura 2.1 Atuação do diodo by-pass no caso de sombreamento de células.



Fonte: Canal solar, 2021

2.1.3. As baterias

Apesar de existirem sistemas fotovoltaicos sem a utilização de baterias, elas podem ser interessantes para quem precisa de um sistema que continue funcionando mesmo com a interrupção no fornecimento das concessionárias. Com a função de acumular a energia elétrica durante os momentos de geração de energia e fornecer sua carga durante os momentos de pico, as baterias são úteis para aumentar a confiabilidade do sistema fotovoltaico.

As baterias podem ser associadas formando um banco de baterias de acordo com a necessidade do sistema. Atualmente podemos encontrar no mercado brasileiro três tipos de baterias utilizadas para aplicação solar: a bateria de chumbo-ácido, a bateria de íon de lítio e as baterias de níquel-cádmio (PORTAL SOLAR, 2021). Apesar de se tratarem de tecnologias mais antigas, as mais comuns e que por estarem há décadas no mercado são altamente testadas são as baterias estacionárias de chumbo-ácido. Estas também podem ser encontradas por um custo menor no mercado do que as de lítio, por exemplo.

Convencionalmente as baterias eletroquímicas de chumbo-ácido são aplicadas a veículos e sistemas de emergência mostrando-se versáteis, confiáveis e apresentando uma boa relação custo-eficiência para estas aplicações. Desde que os sistemas de potência, que incorporam tecnologias renováveis como a solar fotovoltaica, foram introduzidos como alternativas energéticas de geração de eletricidade para diversas aplicações na solução de deficiências de eletrificação rural, iluminação pública, fornecimento de energia para sistemas de telecomunicações, navegação e sinalização, por exemplo, o uso destas baterias foi a opção

encontrada para o armazenamento da energia elétrica gerada, adaptando a geração intermitente à demanda, e assim garantindo um fornecimento constante de energia. A escolha destas baterias foi e é determinada em função do custo e da disponibilidade, sendo uma tecnologia aparentemente de fácil adaptação a esta aplicação (COPETTI; MACAGNAN, 2007).

Nos sistemas mistos fotovoltaicos, o banco de baterias garante o *backup* da energia e fornece a carga necessária para que os principais equipamentos continuem funcionando mesmo quando há a ocorrência de interrupção da rede de transmissão. Elas podem ser dimensionadas a partir da autonomia desejada para o sistema, potência total diária consumida e de forma a avaliar os benefícios econômicos que vêm da garantia do funcionamento contínuo da energia. Suas maiores desvantagens consistem em sua vida útil que em geral é menor do que os demais componentes do sistema, na poluição gerada pelo mal descarte e por não serem tão sustentáveis.

2.1.4. O inversor

A energia gerada pelos painéis fotovoltaicos tem tensão contínua. Para converter essa tensão na tensão alternada utilizada pelos equipamentos, utiliza-se um inversor CC/CA. Os sistemas isolados utilizam inversores diferentes dos sistemas conectados à rede. Segundo Nuayed (2019 apud SCHMID; SCHMID, 2007, p. 30) os inversores isolados devem ser concebidos com o objetivo de serem alimentados por baterias, fornecendo tensão e frequências para a carga independentemente do estado de carregamento.

De acordo com Ferioli et al. (2014) comumente em sistemas isolados eles operam a 12, 24, 48, 120 Volts (CC) fazendo a conversão para 120 ou 240 Volts (CA) a uma frequência entre 50 a 60 Hertz.

Para o dimensionamento do inversor algumas características devem ser levadas em consideração. No mercado pode-se achar como especificações básicas do equipamento sua forma de onda, a tensão de entrada e de saída, a capacidade de surto, o carregamento da bateria, além do voltímetro e controle remoto. Como característica opcional ainda tem-se um seguidor do ponto de máxima potência.

Para os sistemas solares mistos, tem-se inversores híbridos que atuam permitindo a operação da energia tanto quando o sistema está atuando conectado à rede (como funcionaria um inversor on-grid) quanto quando o sistema está desconectado (funcionando como um inversor off-grid) (PORTAL SOLAR, 2021).

É importante que o inversor dissipe o mínimo de potência possível para evitar perdas significativas de energia. A alta eficiência do inversor nos sistemas fotovoltaicos é um requisito

que deve constar tanto na condição de carga nominal quanto sob as condições de carga parcial.

2.1.5. O controlador de carga

O controlador de carga de um sistema fotovoltaico tem a função de controlar e monitorar a carga e a descarga das baterias. Eles são aplicados a sistemas off-grid ou mistos justamente por ter em sua função ligada ao uso dos acumuladores. São eles que protegem as baterias de sofrerem cargas maiores do que sua capacidade, sofrendo assim danos no seu funcionamento. Eles aumentam a vida útil do banco de armazenamento e garantem sua eficiência. Durante os horários em que a incidência de sol pelos painéis é alta, a carga gerada pelos módulos pode ultrapassar a carga que a bateria consegue receber e armazenar seguramente. A função do controlador é justamente identificar quando esta já está completamente carregada e interromper a ligação com os painéis, ou direcionar a conversão para a parte do sistema conectada à rede (nos sistemas mistos). Sem um controlador no sistema, a bateria poderia continuar recebendo a energia, sofrer uma sobrecarga e passar por problemas como o superaquecimento, a formação de gases e perder sua capacidade permanentemente (SMETS, 2016).

Em casos que o sistema não está gerando energia, como em períodos noturnos, ou gerando pouca energia, como em períodos mais frios e chuvosos, o controlador de carga evita que a bateria seja descarregada além da sua capacidade, o que também causaria prejuízos ao seu funcionamento. É o controlador que garante a operação da bateria dentro das suas especificações, sendo dimensionado de acordo com a proposta do projeto e da capacidade do banco de baterias.

Nauyaed (2019) aponta o manual do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sergio de S. Brito (CRESESB) como as descrições encontradas no mercado para os controladores de carga. As informações disponibilizadas pelo fabricante devem contar com:

- Fabricante/modelo;
- Tensão do sistema;
- Configurações ajustáveis de compensação de temperatura, desconexão a tensão baixa, proteção a corrente reversa, seguidor do ponto máximo de potência;
- Medidores de tensão do sistema, corrente do arranjo e de corrente para a carga;

2.1.6. Conversores CC-CC

Para equipamentos que utilizam uma tensão maior ou menor fornecida pelo o sistema ou pela bateria, os conversores atuam adequando a energia ao equipamento, evitando sobrecargas. Em alguns casos podem já estar acoplados ao controlador de carga, exercendo essa função. O conversor pode atuar tanto aumentando a tensão quanto diminuindo a mesma. Ele mantém a tensão elétrica de todo o conjunto fotovoltaico dentro dos limites estabelecidos para um funcionamento confiável. Seu mecanismo de controle é o chamado “seguidor do ponto de máxima potência” (MPPT; *Maximum Power Point Tracker*, em inglês). O ponto de máxima potência em um sistema é o produto máximo entre a corrente e a tensão fornecidas pelo painel. (VERA, 2004).

Geralmente o MPPT atua tanto sobre o conversor quanto sobre o inversor (que no caso é imprescindível nos sistemas interligados ao sistema público de energia). Ele garante um melhor aproveitamento da energia e eficiência dos módulos, devendo ser dimensionado levando em conta todas as características do local de instalação.

A eficiência dos conversores depende dos semicondutores de potência utilizados e de outros fatores como a potência nominal, fator de multiplicação de tensão, etc (NAUYAED, 2019).

De acordo com Vera (2004) os conversores anexam também os dispositivos de proteção que asseguram uma operação ótima e evitam que em caso de falhas como curto-circuitos e sobre-tensão hajam danos no sistema.

2.1.7. Outros componentes

A interligação de todo o sistema depende também do dimensionamento adequado dos cabos de ligação. Os cabos para sistemas fotovoltaicos devem ser dimensionados para uma queda de tensão máxima de 2% entre os módulos e controlador. Para circuitos controlador-bateria e bateria-inversor, a queda de tensão não deve exceder 1% e o condutor deve ter capacidade para suportar pelo menos 125% da corrente nominal de curto-circuito dos módulos fotovoltaicos. (FERIOLI, 2014).

Assim como em qualquer projeto elétrico, o sistema de proteção fotovoltaico fica a cargo das chaves, fusíveis, disjuntores e dispositivos de proteção contra surto (DPS). Estes componentes

devem ser selecionados considerando o valor máximo de tensão e corrente em cada ponto do circuito (PINHO et GALDINO, 2014).

2.2. Dimensionamento do sistema

O dimensionamento do sistema foi feito a partir dos dados recolhidos sobre o local em que o sistema vai ser instalado. A princípio foi preciso que fazer um levantamento da quantidade de consumo do proprietário e de todo o maquinário utilizado na produção. Depois, para conseguir calcular a quantidade de módulos que são necessários para suprir o sistema, avaliou-se a tensão nominal da carga a qual eles vão ser conectados assim como a potência que ela exige. O perfil de consumo também depende do cálculo da média diária de uso de cada equipamento em horas. Outro fator importante a ser levado em conta é o local da instalação. Por meio do uso de *softwares* e programas computacionais, pode-se determinar com precisão a latitude de um lugar e obter também a média da insolação diária que os painéis vão receber.

A seguir, será mostrada uma visão em geral de como o dimensionamento foi feito e quais fatores foram levados em consideração na hora de aplicarmos o projeto no estudo de caso.

2.2.1. Consumo do sistema

O consumo do sistema foi obtido fazendo um levantamento de todos os equipamentos que consomem energia e que estão instalados na propriedade. Lâmpadas, refrigeradores, eletrodomésticos e tudo que o sistema vai alimentar. Após esse levantamento, as características das cargas e o cálculo da potência foram inseridos em uma tabela. Outra informação importante para definir o consumo foi a quantidade de horas que cada um dos itens fica ligados, achando assim o valor em Wh/dia médio de consumo. A conta de luz dos meses anteriores, para propriedades que já são conectadas a rede, pode ser utilizada para conseguir uma média mensal e avaliar as necessidades do local.

As cargas podem ser divididas em cargas de corrente contínua ou cargas de corrente alternada. A corrente do sistema passa por perdas na conversão de energia. A eficiência da geração depende da qualidade de cada um dos componentes do sistema. A corrente de pico (I_p) é importante ser avaliada principalmente no cálculo da fiação do sistema e pode ser obtida pela soma total das potências das cargas (tanto em CC e CA) e dividindo esse valor pela tensão de saída CC (NAUAYED, 2019).

A tabela 2.1 pode ser utilizada para fazer o dimensionamento do consumo diário.

Tabela 2.1 - Dados do dimensionamento do consumo diário.

EQUIPAMENTO	QUANTIDADE	CONSUMO UNITARIO (W)	CONSUMO TOTAL (W)	HORAS DE USO POR DIA	Wh/DIA
Listagem de cada um dos itens que são ligados a eletricidade. Ex: lampadas, refrigeradores, motores.	Quantidade de cada um dos itens .	Potencia de cada um dos itens em Watt, informação que pode ser obtida na embalagem e fornecida pelo fabricante.	O consumo total da potencia pode ser obtido pelo produto entre a quantidade e o consumo unitario de cada um dos itens e pode ser calculado automaticamente inserido a fórmula na tabela.	Aqui pode ser inserido uma média diária do uso de cada um dos equipamentos. Pode ser um valor aproximado, porem quanto mais próximo do valor real, mais eficiente vai ser o sistema.	Calculado consumo total diário, feito pelo produto entre o consumo total e as horas de uso por dia.

Fonte: Elaborada pela autora com base em Pereira, 2012.

Por meio do uso das informações preenchidas na tabela, pudemos verificar a quantidade de energia que o sistema deveria suprir em Wh por dia para atender ao consumo do lugar no qual vai ser instalado.

As informações calculadas pelo consumo total, também foram utilizadas posteriormente no cálculo do dimensionamento do inversor.

2.2.2. Dimensionamento dos módulos fotovoltaicos

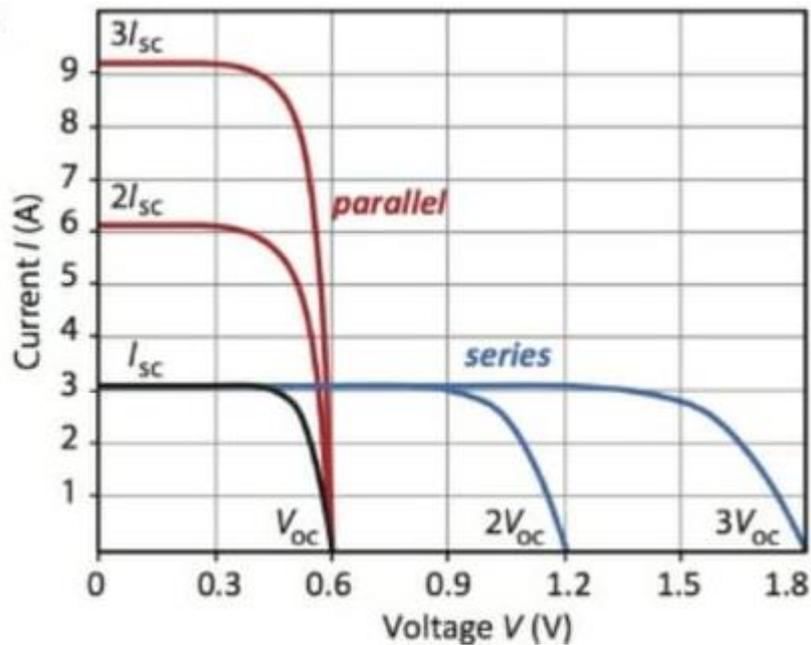
O dimensionamento dos módulos leva em conta a eficiência de conversão de cada um dos modelos, além do cálculo da radiação solar e do sombreamento do modelo. As curvas características determinadas pela corrente e a tensão geradas pela placa são relevantes principalmente na hora de calcular quantos módulos são necessários para suprir o consumo. Servem também para comparar a energia gerada em vários momentos do dia e nos fornecem a potência de pico, corrente de pico, tensão em máxima potência e demais informações importantes que são encontradas nas especificações técnicas de cada um dos modelos e definidas pelos fabricantes.

2.2.2.1. Curvas características

Fatores como a intensidade de iluminação e a temperatura interferem diretamente na potência da produção do módulo. Durante o dia, a posição do sol varia e com isso a temperatura e a luminosidade incidente são diferentes a cada hora. A ligação entre os módulos interfere diretamente na geração do sistema. Módulos conectados entre si em paralelo tem suas correntes somadas e tensão constante enquanto módulos conectados entre si em série tem sua tensão somada e corrente constante. A Figura 2.2 retirada de Smets (2016) demonstra como as

conexões interferem diretamente na energia gerada pelo sistema, dando um exemplo de 3 células solares conectadas tanto em série quanto em paralelo.

Figura 2.2 - Curvas Características para ligações em série e em paralelo das células fotovoltaicas.



Fonte: Smets, 2016.

Quando ligadas em paralelo, as três células têm suas correntes somadas gerando uma corrente total de 9 A. Quanto conectadas em série, tem suas tensões somadas resultando em 1,8 V. Levando em consideração que cada célula do exemplo produz 3 A e 0,6 V, suas conexões vão ser determinadas com o propósito do sistema.

A potência elétrica de um sistema é o produto entre a sua corrente e sua tensão. Por meio da fórmula:

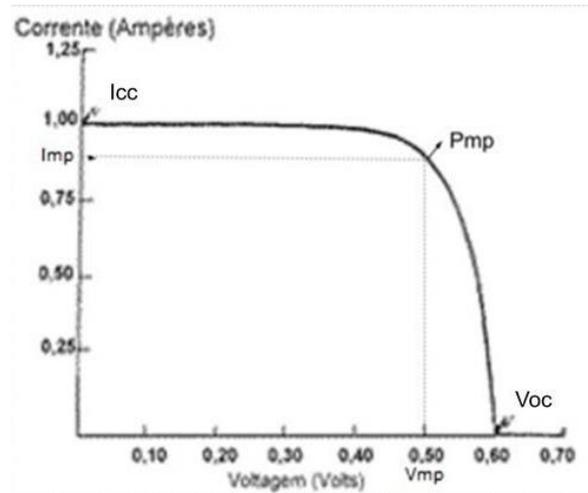
$$P = V \times I \quad (2.1)$$

Podemos encontrar a potência em Watt (W) de um sistema multiplicando sua tensão em Volt (V) e sua corrente em Ampere (A). Essa representação da curva de corrente x tensão é característica na determinação dos sistemas fotovoltaicos. Elas levam em conta a corrente de

curto circuito (representada por I_{cc}), a tensão de circuito aberto (V_{oc}), a potência de pico (P_{mp}), a tensão máxima de pico (V_{mp}) e a corrente máxima de pico (I_{mp}).

A figura 2.3 adaptada do CRESESB mostra onde cada um dos valores citados podem ser encontrados na curva $V \times I$.

Figura 2.3- Curva característica $V \times I$



Fonte: Adaptada do CRESESB, 2021.

A corrente de curto circuito é medida pelo amperímetro, com os terminais de saída do módulo são curto-circuitados, enquanto a tensão em circuito aberto é feita pelo multímetro na função voltímetro medindo a diferença de potencial com os terminais abertos. A corrente máxima de potência é a corrente que o módulo opera em seu modo de ponto máximo de potencia, enquanto a tensão máxima, é a tensão operada nesse modo. Restando assim a potência de pico que é o ponto máximo que o módulo consegue alcançar em sua potência.

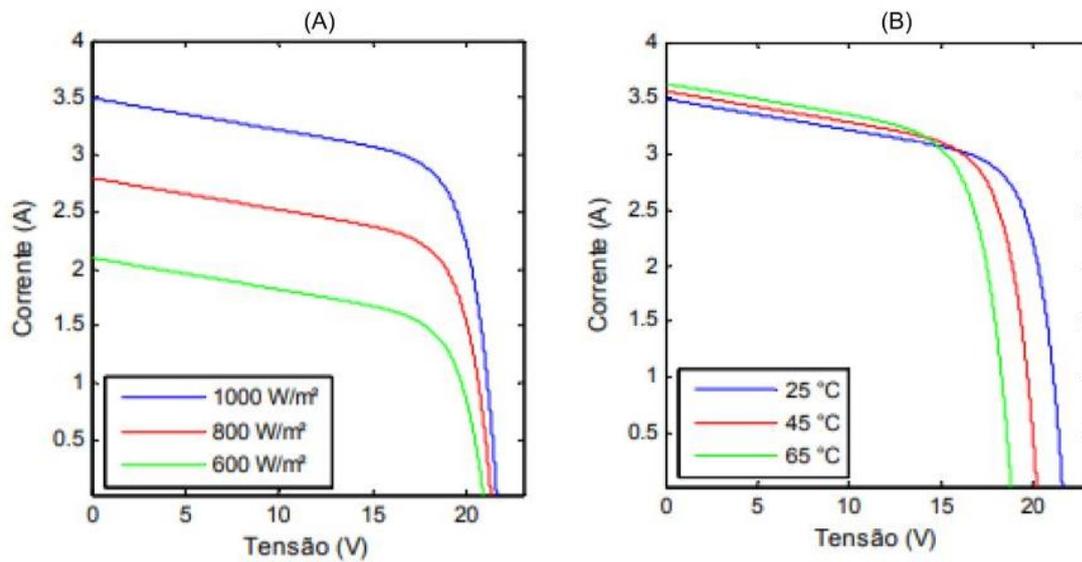
Os fabricantes das células fornecem os dados relativos a cada um dos fatores, que variam de acordo com o modelo, tamanho e material.

2.2.2.2. Radiação local

A intensidade luminosa da localização do sistema e sua variação de temperatura interferem diretamente na eficiência das células. A corrente gerada pelos módulos aumenta proporcionalmente à luminosidade, enquanto a variação da temperatura interfere na tensão gerada pela placa.

A figura 2.4, extraída de Moura (2021), representa como a variação da insolação e da temperatura interferem na curva característica de um painel fotovoltaico.

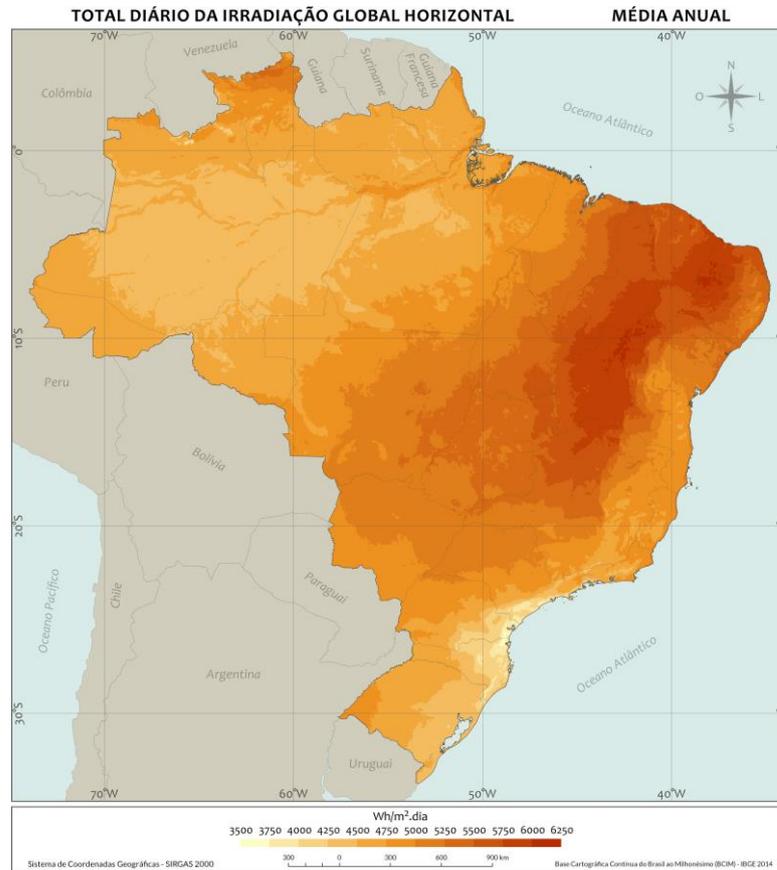
Figura 2.4- Curva VxI para diferentes radiações e temperaturas. (A) a variação da curva VxI para diferentes insolações. (B) mostra a variação de VxI para diferentes temperaturas.



Fonte: Adaptada de (SEGUEL, 2009 apud MOURA, 2021).

O mapa solarimétrico do Brasil como o encontrado na figura 2.5 mostra a incidência do sol em todo território. Atualmente *softwares* específicos encontrados online permitem a verificação precisa da irradiação solar em cada localidade, apenas informando sua latitude e longitude.

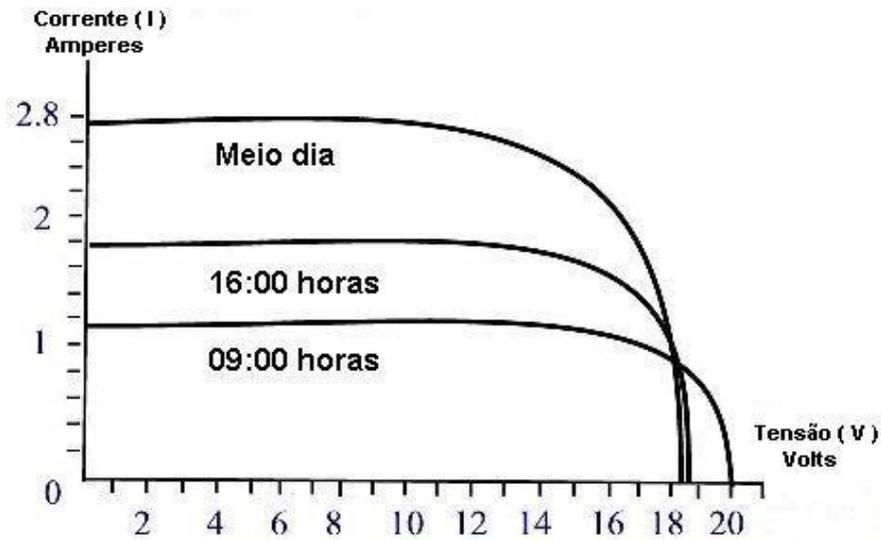
Figura 2.5- Índice de radiação solar no território brasileiro.



Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017).

Ao longo do dia, varia-se tanto a temperatura quanto a insolação. A figura 2.6 representa a variação da curva característica $V \times I$ tendo em vista o horário.

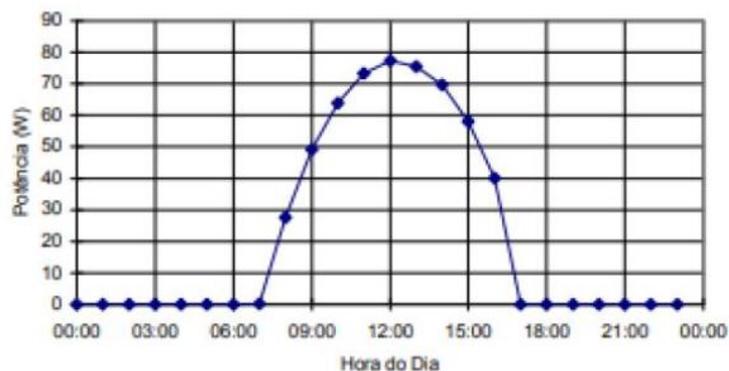
Figura 2.6-Curva VxI para diferentes horários ao longo do dia.



Fonte: Finocchio (2006).

Como pode ser observado, o ponto de potência máxima ao meio dia é maior do que a potencia do sistema ao amanhecer e ao pôr do sol. Em Jardim (2004), podemos encontrar a representação da potência máxima de um módulo fotovoltaico em função do horário, como vemos na figura 2.7.

Figura 2.7- Variação da potência gerada por um módulo fotovoltaico ao longo do dia



Fonte: Jardim (2004).

A área sob a curva nos dá a quantidade de energia que o módulo pode gerar em um dia limpo em Watt hora/dia. Esta unidade é necessária para os cálculos levando em conta que não é

possível determinar em Watt hora um valor constante de energia entregue pelo módulo.

2.2.2.3. Sombreamento

A potência de geração dos painéis pode sofrer interferências caso a instalação seja feita perto de árvores, prédios, postes, entre outros objetos que possam provocar sombra em suas células. Para calcular a distância entre os módulos e os obstáculos que podem prejudicar o seu rendimento, temos a fórmula fornecida por Pinho (2014):

$$d = F_e(h_{ob} - h_i) \quad (2.2)$$

Em que:

d = Distância mínima entre o sistema fotovoltaico e os obstáculos

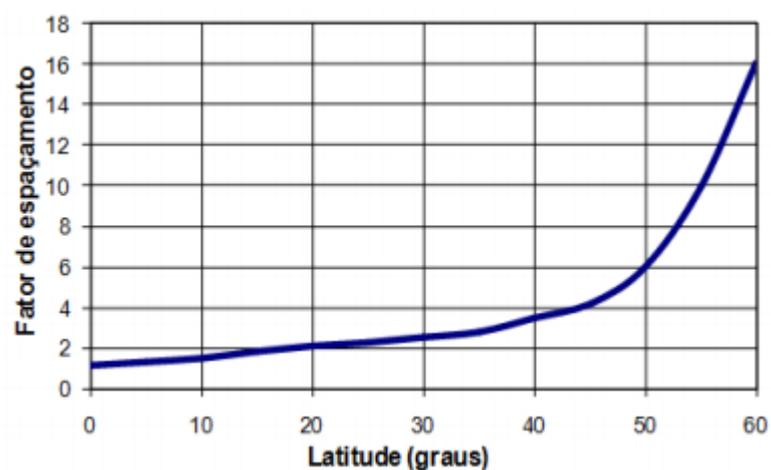
F_e = Fator de espaçamento de determinada latitude

h_{ob} = Altura do obstáculo

h_i = altura de instalação do sistema

A figura 2.8 demonstra a variação do fator de espaçamento em relação a latitude do local.

Figura 2.8 -Fator de espaçamento de acordo com a Latitude



Fonte: Pinho (2008, 2014)

2.2.2.4. Inclinação do painel

A latitude, como vimos anteriormente, é importante para a determinação da insolação e da temperatura do local e para o cálculo do sombreamento. A posição do planeta Terra perante o sol interfere diretamente nas taxas de radiação em cada parte do globo. A inclinação e a direção em que o painel vai ser instalado, determina a quantidade de iluminação solar e por quanto tempo esta vai estar incidente no sistema. Mais uma vez, a latitude do lugar é imprescindível para o cálculo do ponto ótimo de inclinação que vai gerar mais energia. Além disso, devido a geometria entre o Sol e a Terra os painéis devem ser direcionados à linha do equador. Para as localizações ao sul do Equador, os módulos devem estar orientados ao Norte Verdadeiro. Enquanto os países do hemisfério norte devem preferir orientar o sistema para o Sul Verdadeiro. Com os painéis apontados para o norte, há um maior tempo de insolação durante as estações (principalmente no verão) o que faz com que a potência do sistema seja otimizada. Já o cálculo da inclinação dos painéis pode ser calculado pela fórmula fornecida por Moura (2021):

$$\beta = 3,7 + 0,69\phi \quad (2.3)$$

Em que:

$$\begin{aligned} \beta &= \text{ângulo de inclinação do módulo fotovoltaico em graus} \\ \phi &= \text{latitude do local (ângulo de incidência do sol)} \end{aligned}$$

Para a autolimpeza dos painéis com as chuvas, recomenda-se que sejam instalados a pelo menos 10° de inclinação. Na prática muitas instalações acabam por desconsiderar ou aproximar o cálculo da inclinação pois são colocados em estruturas já existentes, como telhados.

2.2.3. Dimensionamento das baterias

As baterias estacionárias indicadas para os sistemas fotovoltaicos podem ter uma profundidade de descarga mais elevada do que as baterias convencionais, o que traz a elas uma vida útil maior. Para dimensionar o sistema, é necessário que haja um planejamento da autonomia que este deve ter, a potência das cargas que vai alimentar e o tamanho como um todo. Em geral a capacidade da bateria é dada em função da corrente que ela consegue oferecer por hora. (PEREIRA, 2012).

A autonomia do sistema depende da taxa de insolação do local. Em geral, no Brasil considera-se de 2 a 4 dias. Em caso de locais com uma taxa menor, deve-se considerar uma autonomia de 4 dias. Para locais que são mais ensolarados, 2 dias pode ser suficiente. Alguns locais já possuem o parâmetro de autonomia dimensionado experimentalmente. Pinho et Galdino (2014) trazem o parâmetro Hora do Sol Pleno (HSP) para calcular a autonomia do sistema em função da insolação do local. O HSP é a razão entre a irradiância solar por 1 kW/m², indicando por quantas horas por dia um espaço recebe constantemente o equivalente a 1000W/m². A partir do valor de HSP a autonomia dada por N pode ser encontrada pela fórmula fornecida por Pinho et Galdino (2014):

$$N = -0,48 \times HSP_{min} + 4,58 \quad (2.4)$$

Em que o HSP_{min} é considerado o HSP do mês que possui menos insolação.

No caso da ligação entre as baterias, não é recomendado pelos fabricantes que seja colocado mais do que 4 a 6 baterias em paralelo. A capacidade útil da bateria em função da energia a ser fornecida pelo sistema pode ser encontrada pela fórmula fornecida por Pereira (2012):

$$C_u = \frac{S_{sv} \times N}{V_i} \quad (2.5)$$

Sendo C_u a capacidade útil da bateria, encontrada em Ampère-hora (Ah), S_{sv} a energia a ser fornecida pelo sistema fotovoltaico e N a autonomia. A capacidade real do banco de baterias é dada pela razão entre a capacidade útil e a profundidade de descargas das mesmas. A profundidade de descarga vai depender do uso. Esta determina também a vida útil da bateria e não é indicado que a descarga ultrapasse 90%.

Por fim, o número de baterias pode ser encontrado pela divisão entre a capacidade real encontrada para suprir o sistema e a capacidade de uma bateria, dada pelas especificações do fabricante.

Para saber quantas baterias devem estar em paralelo, considera-se a quantidade de corrente que o sistema precisa suprir em (Ah) dividindo este valor pela capacidade da bateria selecionada. Analogamente, para saber quantas baterias devem ser colocadas em série, divide-se a tensão do sistema pela tensão da bateria selecionada. O total de baterias é o produto entre as baterias em série e as baterias em paralelo (NAUAYED, 2019).

2.2.4. Dimensionamento do Inversor

O dimensionamento do inversor deve considerar o consumo do local. Calculando pelo método crítico, este deve ser correspondente a potência máxima da carga, colocando o cenário crítico em que todos os equipamentos que utilizam a corrente alternada estejam ligados ao mesmo tempo. O fator mais importante a ser considerado é a eficiência do inversor, pois esta determina qual o potencial do sistema que será aproveitado e injetado na rede. Considerando que a potência do inversor seja igual ou acima da potência máxima do sistema instalado, ainda é necessário considerar a potência de pico. Cargas como motores de partida que possuam elevada potência de pico, precisam ser consideradas na análise das especificações do inversor para que ele seja capaz de suprir com a demanda sem sofrer danos.

Em aplicações de baixa potência, predomina-se o uso de inversores monofásicos. Já para potências maiores, acima de 5kW, utiliza-se inversores trifásicos. Deve possuir a tensão de entrada igual a tensão do sistema (CC) e tensão de saída conforme a necessidade. (PINHO et GALDINO, 2014).

2.2.5. Dimensionamento do Controlador de Carga

O dimensionamento do controlador de carga leva em conta a corrente de curto circuito do sistema fotovoltaico. Este valor vai depender da quantidade de módulos que estão ligados em paralelo no arranjo fotovoltaico. As especificações do fabricante devem ser analisadas de forma que a corrente de pico (maior corrente que o sistema pode gerar) seja menor do que a corrente nominal especificada para o equipamento.

Observa-se que em alguns casos o controlador precisa ser da mesma marca que o inversor para garantir a função de ambos (PINHO et GALDINO, 2014).

É necessário também ver se as demais especificações se adequam ao local da instalação, como a temperatura do ambiente, entre outros.

3. ESTUDO DE CASO

3.1 Descrição da propriedade e produção local

O estudo de caso foi feito a partir dos dados relativos ao consumo de energia de uma pequena produção leiteira com uma média de 15 vacas em lactação e com a produção diária de 180 litros de leite. É um dos fornecedores de leite do laticínio Sabor de Minas que fabrica muçarela, parmesão e provolone a nível estadual. Por se tratar de uma empresa do ramo alimentício, alguns critérios devem ser obedecidos a fim de seguir as normas e prover um alimento em condições de salubridade e qualidade.

O maquinário utilizado para a criação do gado envolve refrigeradores, ordenhadeiras e ensiladeiras. A qualidade e a saúde das vacas interferem diretamente no produto final. O rebanho exige cuidado durante todos os dias da semana, com as vacas lactantes tendo seu leite retirado nos períodos da manhã e da tarde. Uma parte do leite é usada para os bezerros que ainda estão em fase de amamentação. O restante é imediatamente depositado em um refrigerador que mantém a temperatura de 4°C, conforme exigido pela IN 76.

Na propriedade, a cada dois dias o leite que foi armazenado no refrigerador é transportado para o laticínio. A habitação e o maquinário da ordenha têm a conexão com a rede fornecida pela CEMIG, que é a responsável pela energia fornecida na maioria das cidades em Minas Gerais.

A proposta fotovoltaica tem como objetivo avaliar os benefícios que a geração própria de energia pode trazer e solucionar eventuais problemas que ocorrem quando há acidentes na linha de transmissão. Por transportar o leite a cada dois dias, a falha no sistema traz ao produtor um prejuízo de cerca de 360 litros o que equivale a aproximadamente 750 reais na cotação atual de leite cru. As dificuldades para reestabelecer a conexão, por se tratar de uma zona rural, faz com que esse dano seja ainda maior quando os reparos na rede demoram mais do que um dia para que a energia volte a funcionar. Isso interfere diretamente na qualidade de vida do trabalhador que por vezes passa a ter que acordar mais cedo para retirar o leite manualmente e faz com que o leite armazenado no resfriador seja perdido.

A fim de solucionar o problema, um sistema de energia autônomo que mantivesse o funcionamento dos equipamentos mais importantes foi proposto. Um banco de baterias que possa manter a autonomia do resfriador e da ordenhadeira durante os momentos de queda de energia melhoraria a vida do trabalhador e evitaria os prejuízos.

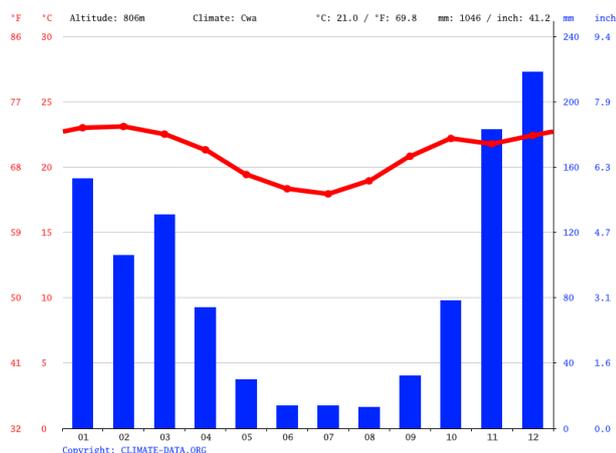
Durante os momentos em que a distribuidora esteja fornecendo energia, propôs-se que o sistema esteja conectado a rede através de um medidor bidirecional, fazendo com que a conta fosse

reduzida na propriedade ao longo do ano e que o sistema de armazenamento da bateria atendesse apenas emergencialmente, aumentando sua vida útil.

3.2 Taxas de radiação e características geográficas

O município de Guanhães localiza-se na região do Vale do Rio Doce, leste mineiro. A temperatura média anual é de 21°C com uma pluviosidade média anual de 1046 mm. (CLIMATE DATA, 2021). A variação pluviométrica e da temperatura pode ser encontrada no gráfico 3.1 Os fatores climáticos além de interferirem no índice de insolação e temperatura dos componentes do sistema, interferem diretamente na produção leiteira. Nos períodos de seca, compreendidos de maio a setembro, a vegetação fica mais escassa o que diminui consideravelmente a alimentação do gado, que passa a contar com rações além do capim e da cana. Por consequência disso, a quantidade de leite produzida tem uma redução.

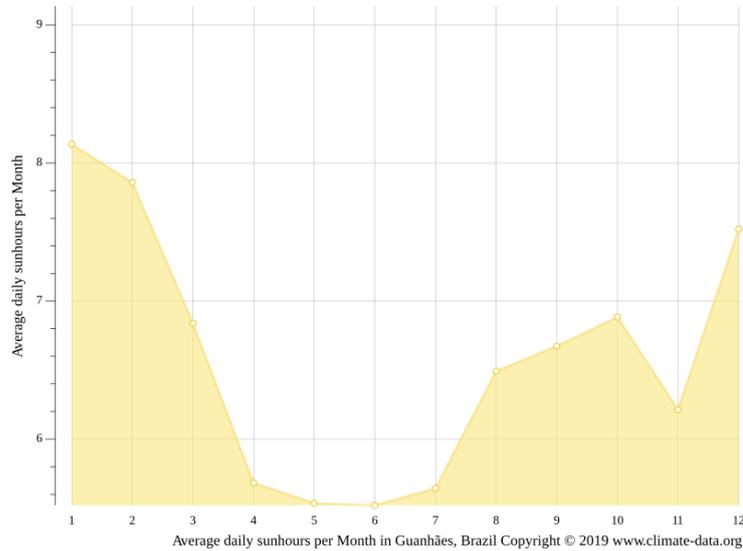
Gráfico 3.1- Índice pluviométrico e de temperatura anual para a cidade de Guanhães MG



Fonte: CLIMATE DATA. ORG, 2019

Os meses que possuem maior incidência de sol são janeiro e fevereiro e menor nos meses de maio e junho com 5,5 horas de sol pleno. O gráfico 3.2 e a tabela 3.1 mostram os índices encontrados de acordo com o mês.

Gráfico 3.2 Horas de sol pleno para a cidade de Guanhões MG



Fonte CLIMATE-DATA. ORG, 2019

Tabela 3.1 Valores mensais das Horas de Sol Pleno para cidade de Guanhões MG

Mês	HSP (h)
Janeiro	8,1
Fevereiro	7,9
Março	6,8
Abril	5,7
Mai	5,5
Junho	5,5
Julho	5,6
Agosto	6,5
Setembro	6,7
Outubro	6,9
Novembro	6,2
Dezembro	7,5

Fonte: dados retirados do Climate-Data.org, 2019

A irradiância global horizontal fornecida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para o município consta na tabela 3.2.

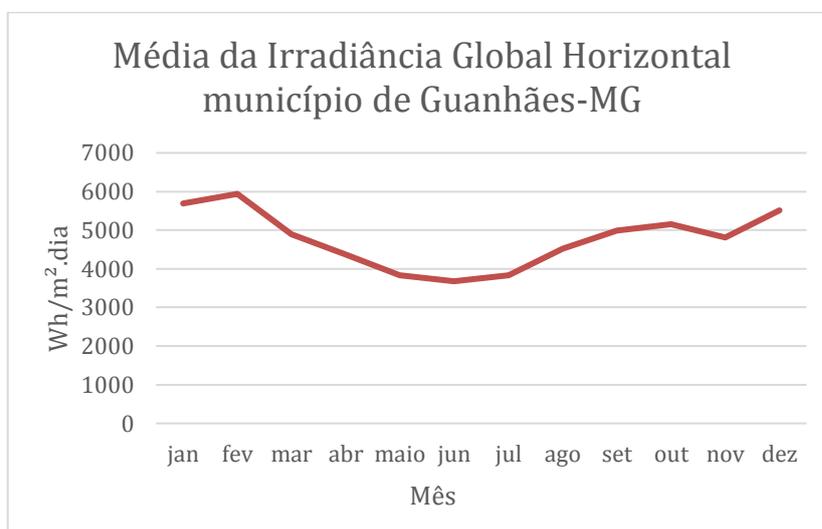
Tabela 3.2-Irradiância Global Horizontal

Dados da irradiancia em Wh/m ²														
LONG	LAT	anual	jan	fev	mar	abr	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
-42,949	-18,8005	4768	5691	5939	4897	4364	3837	3678	3833	4525	4984	5155	4806	5508

Fonte: dados do INPE

Com os dados fornecidos pela localidade, foi possível plotar o gráfico 3.3.

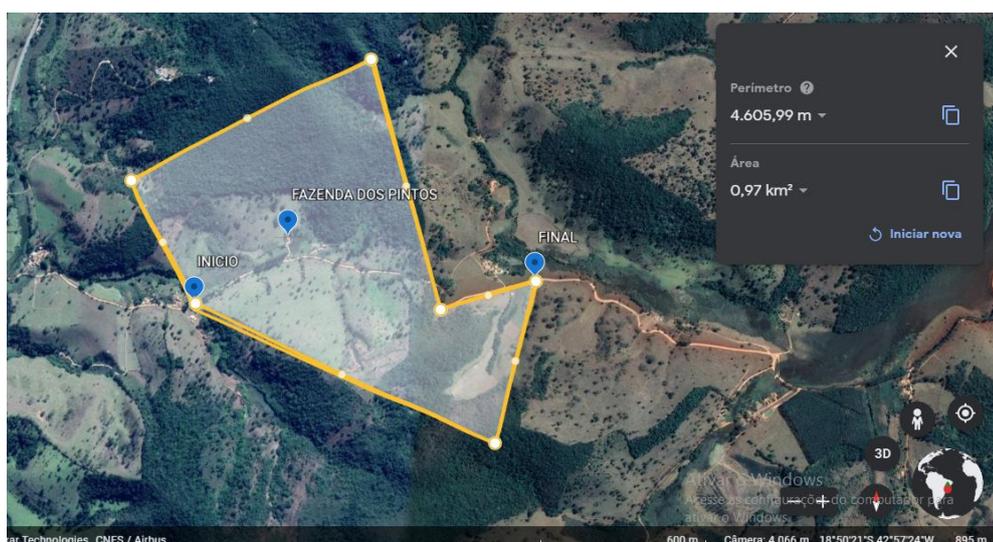
Gráfico 3.3 Irradiância média em Wh/m².dia



Observa-se que o mês crítico para a geração da energia é o mês de junho. A média anual é de 4768 Wh/m². dia.

A propriedade localiza-se a latitude de 18°50'30'' S e longitude 42°57'52'' W.

Figura 3.1 Mapeamento da propriedade rural



Fonte: Google Earth 10/07/2018 imagem mais recente

Pelo uso do google Earth fez-se um mapeamento da região, localizando o norte geográfico e as características relevantes ao projeto.

3.3. Levantamento do consumo

O consumo da propriedade foi dado pelo maquinário da produção e por uma habitação familiar que conta com três pessoas. Os equipamentos foram mapeados e seus respectivos consumos levantados. O cálculo mensal e diário da utilização da energia consta na tabela 3.3.

Tabela 3.3 Levantamento do consumo mensal da propriedade.

EQUIPAMENTO	QUANTIDADE	CONSUMO UNITARIO (W)	CONSUMO TOTAL (W)	HORAS DE USO POR DIA	Wh/DIA	Dias de uso	kWh/mês
Bomba d'agua	2	450	900	1	900	30	27
Carga de celulares	3	15	45	1	45	30	1,35
Cerca para gado eletrificada	1	0,9	0,9	24	21,6	30	0,648
Chuveiro	1	4500	4500	1	4500	30	135
Ensiladeira	1	3700	3700	0,5	1850	30	55,5
Lampadas externas	6	25	150	1	150	30	4,5
Lampadas internas	9	23	207	1	207	30	6,21
Modem	1	8	8	24	192	30	5,76
Ordeneira elétrica	1	1850	1850	2	3700	30	111
Receptor por satélite	1	10	10	3	30	30	0,9
Refrigerador	1	78	78	24	1872	30	56,16
Resfriador de leite	1	1860	1860	3	5580	30	167,4
Roteador	1	6	6	24	144	30	4,32
Tanquinho	1	70	70	1	70	4	0,28
Televisores	2	95	190	6	1140	30	34,2
Videogame	1	15	15	1	15	10	0,15
Total			13589,9		20416,6		610,378

A média estipulada do consumo mensal fica em torno de 610,4 kWh/mês. Por dia, o consumo é de 20,5 kWh/ dia. O sistema fotovoltaico precisa então gerar pelo menos 20,5 kWh por dia para atender a demanda do local.

Tirando por base o método de dimensionamento com base no mês crítico, a formulação para atender o consumo com base no pior cenário possível, em que todos os equipamentos estejam sendo utilizados ao mesmo tempo, considera que para encontrar a potência máxima (Wp) precisamos além do consumo somado da potência total, definir um coeficiente para as perdas do sistema e do HSP mínimo do ano.

Segundo Pinho e Galdino (2014), a potência do sistema fotovoltaico é dada por:

$$P_m = \max_{i=1}^{12} \left(\frac{L_i}{HSP_i \times Red_1 \times Red_2} \right) \quad (3.1)$$

Em que:

P_m (Wp) é a potência do sistema fotovoltaico;

L_i (Wh/dia) é a energia consumida no mês i ;

HSP_i (h/dia) são as horas de sol pleno do mês i ;

Red_1 (%) é o fator de redução da potência dos módulos, podendo ser considerado 0,75 para painéis de silício cristalino (c-Si).

Red₂ (%) é o fator de redução da potência devido as perdas do sistema (fiação, controlador, etc), sendo recomendado a utilização do valor de 0,9.

Assumindo que o consumo do sistema é de 20500 Wh/dia (no cenário crítico) e adotando o valor mínimo de HSP (meses de maio e junho) de 5,5 h/dia), temos que:

$$P_m = \left(\frac{20500}{5,5 \times 0,75 \times 0,9} \right) = 5521,8852 \text{ Wp}$$

A potência máxima do sistema seria então, aproximadamente, 5,5kWp.

Outra maneira de dimensionar o consumo, leva em conta o histórico de consumo anual de luz fornecido pela distribuidora. Os dados levantados para o período de Julho de 2020 até Junho de 2021, relativos a propriedade em questão, constam na tabela 3.4.

Tabela 3.4 Histórico do consumo anual em kWh/dia

Mês	Media Kwh/dia
jul/20	17,51
ago/20	11,39
set/20	16,8
out/20	17,51
nov/20	21
dez/20	17,89
jan/21	15,78
fev/21	15,64
mar/21	17,64
abr/21	16
mai/21	14,85
jun/21	16,76

Aplicando a formula 3.1 para cada mês do ano com seu respectivo HSP, temos:

Tabela 3.5 Potência máxima do sistema de acordo com a média de consumo anual

Mês	Consumo kWh/dia	HSP	Pm (Wp)
jul/20	17,51	5,6	4632,275
ago/20	11,39	6,5	2596,011
set/20	16,8	6,7	3714,76
out/20	17,51	6,9	3759,528
nov/20	21	6,2	5017,921
dez/20	17,89	7,5	3533,827
jan/21	15,78	8,1	2886,145
fev/21	15,64	7,9	2932,958
mar/21	17,46	6,8	3803,922
abr/21	16	5,7	4158,545
mai/21	14,85	5,5	4000
jun/21	16,76	5,5	4514,478

De acordo com a média anual, o mês cuja potência do sistema teria que ser máxima seria o mês de novembro com 5,018 kWp.

Ao longo do ano, além da variação solar, o consumo tende a variar de acordo com a sazonalidade climática. A produção leiteira diminui em períodos de seca (maio a setembro) pela escassez da vegetação. O período acaba por coincidir com os meses de menor insolação, o que faz com que mesmo que o sistema acabe gerando menos energia, o consumo também diminui com a menor utilização do maquinário.

Por se tratar de um ambiente rural cuja distribuidora é a CEMIG, a tarifa vigente segundo a regulamentação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estipula um valor mínimo pela instalação que custeia a transmissão e a distribuição, além dos encargos e tributos. Essa taxa mínima é aplicada a propriedades que consumam até 30kWh/mês em sistemas monofásicos. Considerando que essa energia fornecida já é contabilizada no valor mensal da conta de luz, na prática podemos dimensionar o sistema para que produza apenas o consumo que ultrapassa o valor mínimo. Ainda, quando o sistema fotovoltaico fornece para a rede uma energia superior ao consumo mensal, o crédito fica na fatura pelos próximos 60 meses (CEMIG, 2021).

O consumo médio mensal durante o ano foi de aproximadamente 500 kWh, subtraindo os 30 kWh da taxa mínima, o sistema poderia ser dimensionado para suprir 470 kWh mês. Dessa forma, o consumo diário fica em torno de 15,8 kWh/dia aplicando o mesmo cálculo para a potência visto na fórmula 3.1 temos que:

Tabela 3.6- Cálculo da potência considerando a taxa mínima de consumo

Mês	Consumo	HSP	Pm (Wp)
jul/20	15,8	5,6	4179,894
ago/20	15,8	6,5	3601,14
set/20	15,8	6,7	3493,643
out/20	15,8	6,9	3392,378
nov/20	15,8	6,2	3775,388
dez/20	15,8	7,5	3120,988
jan/21	15,8	8,1	2889,803
fev/21	15,8	7,9	2962,963
mar/21	15,8	6,8	3442,266
abr/21	15,8	5,7	4106,563
mai/21	15,8	5,5	4255,892
jun/21	15,8	5,5	4255,892
Media anual:			3623,067

O sistema inicial com 3,7 kWp seria vantajoso, pois seria mais econômico para o produtor e manteria a conta em um valor reduzido. A geração mensal dos meses que produzem mais do que o consumo, apesar de trazer créditos à conta para o mês que não é o suficiente, não é um valor que retorna em dinheiro. Por isso, calculando pelo mês crítico sem considerar o consumo anual na prática, sobredimensionaria o sistema, o que seria mais dispendioso e não traria nenhum benefício a mais enquanto o sistema proposto teve como meta a economia até mesmo no investimento inicial.

3.4. Projeto

3.4.1. Dimensionamento dos componentes do sistema

Dado as características da região e o consumo dos equipamentos, o dimensionamento do projeto levando em conta os componentes encontrados no mercado e a melhor estrutura de instalação segue procurando aumentar a eficiência e atender aos objetivos propostos.

3.4.1.1 Painéis: inclinação, sombreamento, quantidade de módulos

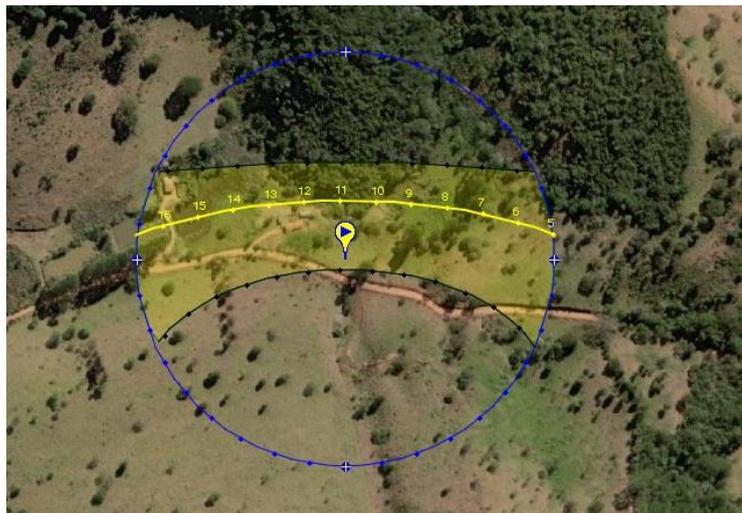
Considerando a latitude de 18°50'30'' da propriedade, a inclinação indicada para os módulos, dada a fórmula 3.3 é.

$$\beta = 3,7 + (0,69 \times 18,50) = 16,465$$

Indicando que o melhor aproveitamento possível para os painéis é de 16,5°. Observa-se que o valor encontrado por ser maior do que 10° possibilita a autolimpeza dos painéis pelo escoamento da água da chuva.

Por ser uma instalação rural, a área escolhida para a montagem da estrutura não sofre com o sombreamento de edifícios e não possui nenhum obstáculo de sombreamento, pois é campo aberto de vegetação rasteira. A escolha do local levou em conta o posicionamento frente ao Norte Verdadeiro, além de manter a instalação longe do trânsito de pessoas e animais. A figura 3.2 mostra o caminho do sol ao longo do dia na área escolhida. A imagem foi obtida através do *software* SunEarthTools, disponível online e de licença aberta da Creative Commons. A vegetação vista na área não interfere no sombreamento do local escolhido, devido a escala do mapa. Trata-se de uma mata distante do ponto e a área escolhida possui elevação.

Figura 3.2 Caminho do sol na localização escolhida



Fonte: SUNEARTHTOOLS, 2021.

A área de ocupação dos painéis foi dada pela escolha do material de formação das células. Os módulos de silício policristalino são mais econômicos, porém com a eficiência menor, acabam convertendo menos potência, precisando de mais módulos para suprir a demanda energética. Considerando o comparativo entre quatro painéis encontrados no mercado, sendo três de silício policristalino (p-Si) e um de silício monocristalino (m-Si), temos:

Tabela 3.7-Comparativo entre paineis

Material	Potencia (W)	Eficiencia (%)	Área (m ²)	Potencia entregue (W)	E Wh/dia	Quantidade	Preço unid (R\$)	Preço total (R\$)	área total (m ²)
p-Si	365	0,1812	2,01402	66,13	396,78	9,325066788	780	7800	20,1402
p-Si	335	0,17	1,97408	56,95	341,7	10,82821188	687	7557	21,71488
p-Si	395	0,1788	2,209184	70,62	423,72	8,732181629	817	7353	19,882656
m-Si	450	0,204	2,209184	91,8	550,8	6,717501816	1031	7217	15,464288

Fonte: preço retirado em minhacasasolar,2021.

Apesar do painel m-Si ter o maior preço unitário em comparação aos outros, por sua potência e eficiência mais elevada, o preço total do sistema acaba sendo menor. A potência entregue é superior aos demais. Nos cálculos foi considerada uma média de insolação de seis horas diárias. A quantidade de módulos estimada levou em conta a potência máxima calculada para o sistema, no total de 3,7 kWp. O preço e a área total foram calculados com base no valor inteiro para a quantidade de módulos estimada.

Demonstrou-se que com 7 módulos de silício monocristalino, o sistema ocupa uma área menor (15,5 m²), se instalados em série, e é economicamente mais viável do que os demais.

Alguns autores indicam o cálculo da quantidade de painéis através da divisão da potência do sistema pela potência pico de cada uma das placas escolhidas. Neste caso, a divisão não considera a influência da eficiência de cada um dos materiais na produção final da energia. Levando em conta este método e utilizando como parâmetro as mesmas placas pesquisadas no mercado, tem-se:

Tabela 3.8- Cálculo de módulos necessários sem considerar eficiência

Material	Potencia (W)	Área (m ²)	Quantidade (3,7kW)	preço unid (R\$)	Preço total (R\$)	Área total (m ²)
p-Si	365	2,01402	10,1369863	780	7800	20,1402
p-Si	335	1,97408	11,04477612	687	7557	21,71488
p-Si	395	2,209184	9,367088608	817	7353	19,882656
m-Si	450	2,209184	8,222222222	1031	8248	17,673472

Neste caso, o painel de silício policristalino de 395W teria a vantagem econômica sobre o painel de silício monocristalino, porém mesmo assim o painel m-Si ainda ocuparia uma área menor. O sistema precisaria de 9 placas p-Si para suprir os 3,7 kWp totais.

Para a construção do sistema misto, levou-se em conta a eficiência descrita no *datasheet* e a placa escolhida foi a m-Si. Segue na tabela os dados correspondentes ao modelo.

Tabela 3.9- Dados da placa escolhida para o sistema

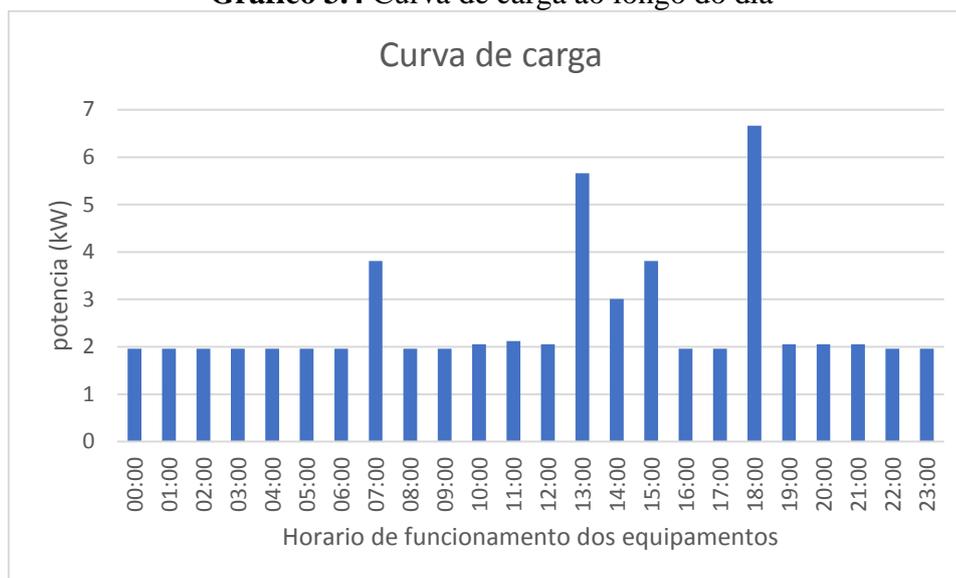
Modelo	RSM-156-6-445M
Fabricante	Risen Solar
Tipo de célula	Silício Monocristalino
Número de células	156
Potência Máxima (Pmp)	445Wp
Eficiência	20,50%
Tensão em circuito aberto (Voc)	52,72V
Tensão de pico (Vmp)	43,9V
Corrente de curto circuito (Isc)	10,15A
Tensão máxima do sistema	1500Vcc
Dimensões (mm)	2178x996x35
Peso (kg)	25
Temperatura de Operação	-40°C a +85°C

3.5. Inversor

Tendo em vista a potência de todos os equipamentos e levando em conta que se trata de um sistema de produção que foge aos padrões residenciais comuns, se utilizarmos um inversor calculado pelo método crítico, ele precisaria ser suficiente para suportar aproximadamente 13600W. Isso, não seria viável na prática, já que em nenhum cenário todos o maquinário está conectado ao mesmo tempo e o sobredimensionamento excessivo (acima do recomendado pelo fabricante), diminuiria a vida útil do inversor que estaria trabalhando por longos períodos com os níveis altos de potência e correndo o risco de superaquecer.

Para fazer o cálculo da carga de saída do inversor um levantamento da potência utilizada ao longo do dia foi utilizado. Considerando a rotina familiar e da produção, os horários estipulados para ligar cada máquina foram tabelados. Os equipamentos de chaveamento automático que ficam ligados durante as 24 horas, como o resfriador e geladeira, tiveram sua potência contabilizada ao longo de todo o dia, já que não é possível determinar o horário exato de funcionamento. A curva de carga pode ser vista no gráfico 3.4:

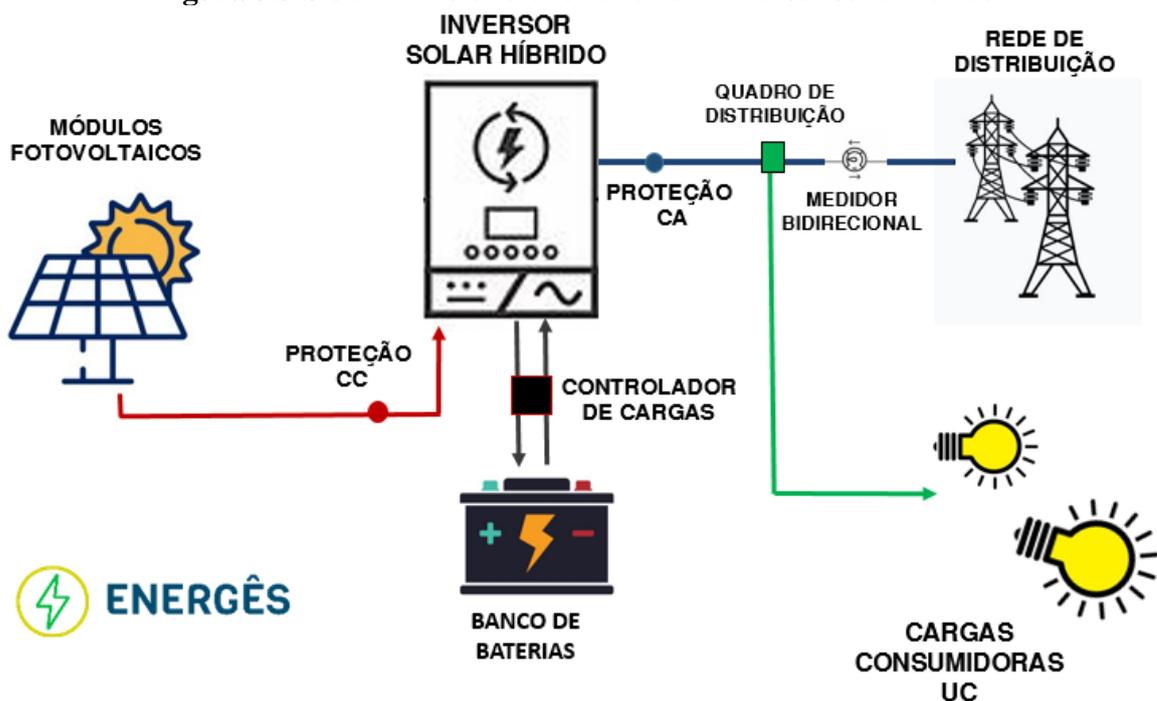
Gráfico 3.4 Curva de carga ao longo do dia



Os maiores consumidores de energia são o chuveiro, ensiladeira, ordenhadeira e as duas bombas d'água. Esses equipamentos não são ligados em conjunto, com exceção das duas bombas d'água que funcionam simultaneamente, pois o próprio sistema desliga a energia.

Por ser um sistema monofásico, o inversor tem que ser monofásico. Deve operar chaveando entre a conexão com a rede e a conexão com as baterias de acordo com a necessidade. Ou seja, precisa ser específico para trabalhar em sistemas mistos. O inversor híbrido fica ligado tanto ao banco de baterias quanto a rede distribuidora. Ele identifica os momentos em que a energia não está sendo fornecida pela concessionária e automaticamente passa a depender da carga vinda do banco de baterias. Alguns modelos inteligentes conseguem até identificar o momento em que a energia gerada pela rede está com o custo maior (bandeira vermelha por exemplo) e passa a consumir a energia do sistema de *backup*, economizando ainda mais o custo da energia pelo proprietário. No caso, o sistema de *backup* foi definido para gerar energia apenas para as cargas prioritárias, já que utilizar uma potência que alimentasse a fazenda inteira nos momentos de falta de luz não seria economicamente viável e a proposta é de que seja um sistema economicamente viável para o produtor. A parte do sistema *off-grid* apenas estará alimentando a geladeira e o resfriador, equipamentos imprescindíveis para evitar a perda leiteira e de alimentos. Já a parte do sistema conectada a rede (*on-grid*) estará utilizando a energia dos painéis durante a produção e nos momentos de pico de consumo (quando por exemplo o chuveiro está ligado) ou quando não há iluminação solar, utilizará da energia fornecida pela rede. A figura 3.3 representa um sistema misto fotovoltaico com a utilização de um inversor híbrido.

Figura 3.3 Sistema misto fotovoltaico com inversor solar híbrido



FONTE: ENERGÊS, 2021.

Outra possibilidade, mais trabalhosa e atualmente menos utilizada para fazer o sistema misto, seria utilizar dois inversores, um on-grid e outro off-grid e fazer manualmente o chaveamento, com base na utilização de contatores que identificariam a queda na rede e chaveariam para o sistema de backup. Essa solução passou a ser ultrapassada com a criação dos inversores híbridos que já tem todo o sistema de chaveamento embutido em suas configurações. É uma solução também mais cara pois precisa de mais equipamentos.

No mercado, encontrou-se o inversor híbrido com as seguintes características descritas na tabela 3.10 que é adequado para o sistema proposto.

Tabela 3.10 Dados do inversor escolhido

Modelo	Upower-HI 3000
Fabricante	Epever
Tipo de onda	Senoidal Pura
Algoritmo de carga	MPPT
Tipo de bateria	Chubo-ácido ou Lítio
Tensão da bateria	48Vcc
Máxima corrente de descarga	50A
Potência de saída	3000W
Potência de surto	6000W
Tensão de saída	220/230V
Frequência	50/60 Hz
Distorção Harmônica	<3%
Máxima eficiência	93%
Dados do gerador	
Faixa de tensão de Entrada	220 (176-264VAC)
Máxima corrente de carga	40A
Máxima potência de entrada	4000W
Máxima tensão em circuito aberto	395V
Faixa de tensão do MPPT	80/350 V
Máxima corrente de carga	50A
Temperatura de operação	entre -25 a 60 graus
Peso	17 Kg
Dimensões	650x430x200 mm

Fonte: Neosolar, 2021 com tabela elaborada pelo autor.

Este modelo trabalha com ou sem baterias conectadas, além de ter uma bateria integrada. É um inversor multifuncional que agrega as características do controlador de carga. Ele já gerencia o sistema sem a necessidade da utilização de outros, com a tecnologia MPPT embutida. Sua tecnologia é voltada para a aplicação em lugares que necessitam de um backup e tem 4 modos de operação: prioridade solar, prioridade rede, solar junto à rede e solar puro. Ele pode ser utilizado como medidor remoto fornecendo os dados do sistema mesmo a distância através do celular.

Seu formato de onda é o Senoidal Pura, o que significa que ele faz uma conversão perfeita da corrente contínua para corrente alternada produzindo um formato de onda idêntico ao da concessionária. Esse formato de onda permite completo funcionamento dos equipamentos elétricos sem falhas. Como inversor/conversor, o UPower-Hi é ideal para todos os tipos de aplicações do nosso cotidiano como sistema de iluminação, eletrodomésticos e outras cargas residenciais (exceto chuveiro elétrico), ferramentas elétricas e principalmente equipamentos sensíveis a variação de tensão (Neosolar, 2021).

Sua potência de entrada foi escolhida de acordo com os 7 módulos de 450 Wp. A entrada até 4000W conseguiria até suportar uma expansão futura do sistema caso mais módulos se fizessem necessários. A saída de 3000 W é o suficiente para abastecer as cargas essenciais durante a queda de energia e durante o fornecimento da mesma, seu formato de onda segue o fornecido pela concessionária, sendo suficiente para alimentar as cargas. Este modelo engloba a função do controlador de carga e carregador de bateria, tornando o sistema menor e mais simples.

3.6. Banco de Baterias

O levantamento do banco de baterias levou em conta os seguintes equipamentos:

- Resfriador;
- Geladeira;
- Modem;
- Roteador;

O levantamento de consumo destes é dado pela tabela 3.11:

Tabela 3.11 Levantamento de consumo sistema emergencial alimentado pela bateria nos momentos de queda de energia

EQUIPAMENTO	QUANTIDADE	CONSUMO UNITARIO (W)	CONSUMO TOTAL (W)	HORAS DE USO POR DIA	Wh/DIA
Modem	1	8	8	24	192
Refrigerador	1	78	78	24	1872
Resfriador de leite	1	1860	1860	3	5580
Roteador	1	6	6	24	144
Total			1952		7788

Levando em conta a eficiência da conversão de energia do inversor, que é de 93%, temos que a geração de energia do sistema na entrada do inversor, considerando apenas os equipamentos supracitados é dada pela fórmula:

$$S_{sf} = \frac{\text{Energia consumida pelos equipamentos ao longo do dia}}{\text{Eficiencia do inversor}} \quad (3.2)$$

Em que S_{sf} é a energia a ser fornecida pelo sistema.

$$S_{sf} = \frac{7788}{0,93}$$

$$S_{sf} = 8374,2 \text{ Wh/dia}$$

Para um sistema puramente off-grid a autonomia do sistema seria calculada pela fórmula 2.4:

$$N = -0,48 \times 5,5 + 4,58 = 1,94$$

Considerando a HSP mínima do mês de Junho que é de 5,5 horas de sol. Assim para a capacidade útil do banco de baterias utilizamos a formula 3.5 para uma autonomia de 2 dias.

$$C_u = \frac{8374,2 \times 2}{48} = 348,9Ah$$

Para a tensão do sistema de 48Vcc conforme a capacidade do inversor. As baterias perdem vida útil caso sejam descarregadas ao extremo. Por isso para calcular a capacidade real do banco de baterias, considerou-se uma descarga de 60% da capacidade real das baterias, sendo uma porcentagem segura de profundidade de descarregamento e que garante um bom uso do equipamento sem força-lo ao extremo e mantendo sua vida útil. Assim através da formula 3.3:

$$C_r = \frac{C_u}{0,6} \quad (3.3)$$

$$C_r = \frac{348,9}{0,6} = 581,5Ah$$

A quantidade de baterias em paralelo é dada pela capacidade real do sistema de 581,5 Ah dividido pela capacidade da bateria dada no datasheet da mesma. Já a quantidade de baterias em série é dada pela tensão do sistema (48Vcc) dividida pela tensão individual de cada bateria. Mas como o sistema é um sistema de geração misto, a autonomia de dois dias é desnecessária já que a proposta do sistema é justamente economizar o máximo e o banco de baterias que considera um sistema puramente off-grid seria dispendioso e não seria interessante já que a parte do sistema on-grid vai atuar a maior parte do tempo. Então, analisando a situação do projeto e o problema proposto mediante ao prejuízo pela perda do leite do resfriador, uma autonomia de 12 horas já seria suficiente para que o produtor identificasse a queda na rede elétrica e tomasse medidas para transportar o leite para o laticínio o mais rápido possível, mesmo que a interrupção na transmissão ocorra durante a noite. Para $N=0,5$, temos:

$$C_u = \frac{8374,2 \times 0,5}{48} = 87,2Ah$$

No mercado, a bateria estacionaria de chumbo-ácido DF1500 da marca Freedom já forneceria a capacidade suficiente com 93 Ah. Como ela possui a tensão de 12 V, seriam necessárias 4 baterias conectadas em série.

Tabela 3.12 Dados e dimensões do banco de baterias

Modelo	DF1500
Fabricante	Freedom
Tipo	Chubo-ácido estacionaria
Tensão Nominal	12V
Capacidade	93Ah
Dimensões	33x17,2X24 cm
Peso	23,9 Kg
Quantidade	4
Ligação	Série
Tensão resultante	48Vcc
Corrente resultante	93Ah

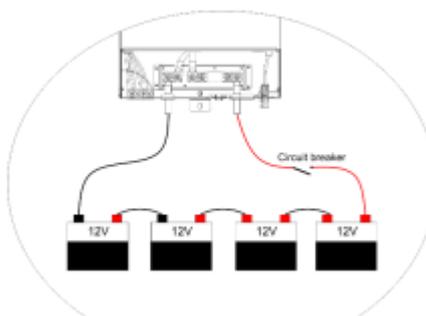
A bateria selecionada possui como características de descarga:

Tabela 3.13 Capacidade de descarga da bateria

	10 h	20 h	100 h
Capacidade da bateria (Ah)	76	80	93

A ligação do banco em relação ao inversor é ilustrada como:

Figura 3.4 Ligação entre o banco de baterias e o inversor



Fonte: Datasheet do inversor

3.7. Controlador de carga

Como o inversor escolhido tem a função de controlador de carga embutido, não foi necessária a utilização deste equipamento para proteger a bateria de eventuais sobrecargas.

3.8. Ligações entre os componentes

De acordo com os dados de entrada do inversor, temos que a tensão em circuito aberto dos painéis não pode exceder a 395V e a corrente não pode exceder a 40A. Para calcular o arranjo fotovoltaico compatível com essas características optando por liga-los em série ou em paralelo, dividimos a tensão de entrada do inversor pela tensão de cada um dos módulos para os painéis em série e dividimos a corrente pela corrente de curto circuito para o cálculo de quantos módulos podem ser conectados em paralelo. A tensão em circuito aberto dos módulos é de 52,72V. Assim, temos:

$$\text{Numero de paineis em série} = \frac{\text{Tensão de entrada do inversor}}{\text{Tensão em circuito aberto do módulo}} \quad (3.4)$$

$$\text{Numero de paineis em série} = \frac{395V}{52,72V} = 7,49$$

Já para o cálculo de quantos painéis podem ficar em paralelo, temos:

$$\text{Numero de paineis em paralelo} = \frac{\text{Corrente de entrada do inversor}}{\text{Corrente em curto circuito do módulo}} \quad (3.5)$$

$$\text{Numero de paineis em paralelo} = \frac{40A}{10,15A} = 3,94A$$

No dimensionamento, a quantidade de painéis calculada para suprir a demanda energética, foi obtida de acordo com os dados e fórmulas encontrados na teoria. Neste caso, fazendo a ligação entre os 7 módulos obtidos, conseguiríamos gerar a energia planejada. Mas levando em conta os aspectos práticos de instalação, a utilização de 8 painéis seria mais efetiva. As condições reais de temperatura, a perda de energia pelos equipamentos e a eventual perda de potência dos módulos por fatores externos como sujeira, além da perda esperada de energia em função do cabeamento, justificam utilizar um módulo de geração extra. Além de considerar a geometria da instalação, já que um número par de placas permite a construção de duas fileiras com a mesma quantidade de painéis.

Utilizando o arranjo com dois grupos de módulos ligados em paralelo, com cada grupo contendo 4 unidades, cobre até mesmo o caso de uma eventual expansão do sistema, caso seja necessário a aquisição de mais algum componente eletrônico além dos já considerados no projeto. Manteve-se o painel monocristalino, por questão de mercado, já que é uma tecnologia mais promissora e eficiente e por possuir a tendência de baratear ao longo dos anos, devido ao aumento da demanda do mercado solar. Para efeito de projeto, justifica-se pensar a longo prazo em uma eventual substituição de algum módulo.

A tensão e a corrente correspondente aos 8 módulos, combinados em ligação mista (série e paralelo) é equivalente a 209,48 V e 20,3 A o que está dentro da capacidade do inversor.

Ao instalar as fileiras, considerou-se que estas estariam a uma distância de 2 metros uma da outra a fim de evitar a sobreposição e o sombreamento. Esse distanciamento também ajuda na manutenção e eventual lavagem dos painéis. Os painéis foram considerados na posição paisagem devido a localização dos diodos by-pass em sua construção. Com o tempo, os resíduos de sujeira costumam acumular-se na base das placas, que se colocadas na horizontal, evita-se que a poeira sobreponha os diodos. Assim sendo, a área estimada para a construção da estrutura metálica dos painéis foi de 32 m². Considerando a inclinação ótima e fazendo uma análise do terreno reservado para a instalação, verificou-se um ponto onde o território era mais plano e a vegetação mais rasteira. A segurança do local e a acessibilidade para pessoas e animais também foi considerada para a construção do projeto.

Após essas definições, foi medido a distância que o local das placas ficava do medidor da concessionária e de onde poderia ser instalado o inversor e o banco de baterias, respeitando as normas de instalações e garantindo a segurança do equipamento, em lugar abrigado do sol, calor e umidade. A distância dos painéis para o inversor foi de 12 m e a distância entre o inversor e o medidor, foi calculada em 15 m. As medidas foram obtidas através do Google Earth e utilizadas no cálculo do cabeamento, tanto da parte do sistema de corrente contínua (entre as placas e o inversor), quanto a parte do sistema de corrente alternada (entre o inversor e o quadro de distribuição e medidor). Por se tratar de um terreno rural com grande espaço livre, pode-se escolher o ponto ótimo de geração das placas, com o ângulo ideal e a frente voltada para o norte. O cálculo utilizado para a secção do cabeamento de corrente contínua leva em conta a lei de ohm. Para os cabos de cobre, precisamos considerar a resistividade do material que equivale a $\rho=0,01724 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$. Assim a secção de acordo com Pinho e Galdino (2014) é dada por:

$$S(mm^2) = \rho \left(\frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \right) \times \frac{d(m) \times I(A)}{\Delta V(V)} \quad (4.6)$$

Em que:

ρ = resistividade do material condutor

d = distância de ida e volta do condutor

I = corrente que passa pelo condutor

ΔV = queda de tensão tolerada no cabeamento

Para instalações de baixa tensão, a NBR 5410 permite uma tolerância entre 1% e 3% de queda de tensão no cabeamento. A corrente que passa pelo condutor é considerada 25% superior a corrente do arranjo dada pelas especificações da placa. O que considerando a tensão total do sistema gerador a 1,5%, equivale a 3,14V e a corrente que passa pelo condutor a 125% é de 25,4A.

Assim, dada a distância de 24 m que equivale a ida e ao retorno do trecho, temos que:

$$S(mm^2) = 0,01724 \times \frac{24 \times 25,4}{3,14}$$

O valor de S é 3,37 mm². Neste método de cálculo foi considerado a queda de tensão. Mas é necessário também considerar a corrente que cada seção suporta e o tipo de instalação do cabeamento além da temperatura e insolação a que o cabo está submetido. De acordo com as normas da NBR 5410, encontradas na mesma, considera-se a seção de 4 mm² mais segura e mais flexível a suportar a corrente, então o cabeamento escolhido foi de 4 mm².

Para o cabeamento da parte do sistema correspondente a corrente alternada, entre o inversor e o medidor, a distância do cabeamento, considerando o trecho de 15m, ida e volta, é de 30m.

$$S(mm^2) = 0,01724 \times \frac{30 \times 25,4}{3,14}$$

O que pelo método de cálculo referente a queda de tensão nos dá uma seção de 4,2 mm². Comercialmente, sendo o cabo de 6 mm², pois deve-se considerar um cabo cuja seção seja igual ou maior a encontrada na fórmula. Novamente, considera-se o cabo de 4 mm² para que a corrente do sistema esteja de acordo com as normas, independentemente do tipo de instalação escolhida. Porém, o escolhido para o cabeamento foi o de 6 mm² por suportar a queda de tensão recomendada.

Para a ligação entre o inversor e a bateria, de acordo com o manual do inversor selecionado, a seção recomendada é de 16 mm² conforme o manual do inversor, dado na figura 3.5. O banco

de baterias ficou a 1 metro do inversor, sendo necessário então 2 m de cabos (1m positivo, 1m negativo).

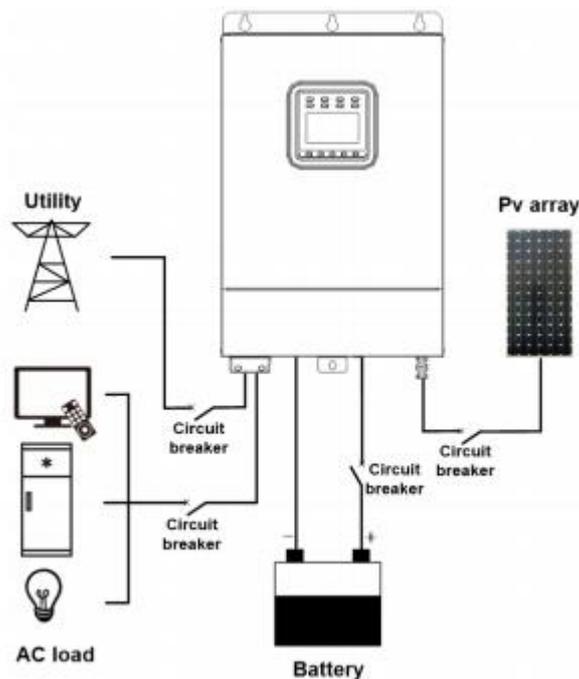
Figura 3.5 Recomendação para cabeamento da bateria

Model	Battery wire size	Circuit breaker	Ring terminal
UP2000-HM6022	20mm ² /4AWG	2P—125A	RNB38-8S
UP3000-HM5041	16mm ² /5AWG	2P—100A	RNB22-8
UP3000-HM5042	16mm ² /5AWG	2P—100A	RNB22-8
UP3000-HM10022	35mm ² /1AWG	2P—200A	RNB38-8S
UP5000-HM8042	35mm ² /1AWG	2P—200A	RNB38-8S

Fonte: Manual do Inversor UPower-Hi, Epever

A proteção do sistema deve conter os dispositivos de proteção contra surto e a chave seccionadora, responsável para o desligamento do sistema caso necessário. A instalação das proteções segue a figura 3.6.

Figura 3.6 Ligação completa do sistema com dispositivos de proteção considerados



Fonte: Manual do Inversor UPower-Hi, Epever

Os disjuntores responsáveis pelo sistema, devem possuir um circuito exclusivo. Para o projeto, considera-se também a separação de cargas, já que caso a energia da concessionária caia, o sistema só irá alimentar as cargas mais importantes, como o resfriador e o refrigerador, sendo

necessário desligar manualmente o chaveamento responsável pelos equipamentos restantes. Por ser uma habitação rural, deve-se escolher o DPS correto para esse tipo de instalação, já que como o local fica isolado de outras habitações, as descargas atmosféricas são mais intensas do que em habitações urbanas, sendo necessária uma proteção correspondente.

3.9. Cálculo de investimento e payback

O cálculo do investimento proposto pelo projeto, levou em conta os seguintes fatores para analisar a viabilidade econômica e o retorno através do tempo:

- Custo dos equipamentos;
- Vida útil do sistema;
- Economia na conta de luz;
- Prejuízo financeiro evitado pelo sistema No-break;

Além desses fatores, no próximo tópico também levou-se em conta a prospecção da tarifa de energia para os próximos anos.

O aproximado dos equipamentos pode ser visto na tabela 3.14:

Tabela 3.14 Cálculo do custo do sistema.

Equipamento	Quantidade	Valor Unitário	Valor total	Fabricante	Dimensão
Módulos	8	1031	8248	Risen Solar	
Inversor	1	5199	5199	Epever	
Baterias	4	599	2396	FREEDOM	
Cabeamento 4mm ²	1	260	260		30 m
Cabeamento 6mm ²	1	320	320		30 m
Cabeamento 16mm ²	1	122	122		5 m
Sistema de proteção	Valor aproximado		1000		
Valor total do sistema			17545		

Sendo o valor de investimento total aproximado de R\$ 17545,00 sem considerar os custos com projetos, homologação perante a concessionária e instalação. A vida útil considerada para as placas é em torno de 25 anos, o inversor aproximadamente pode durar até 15 anos e as baterias por volta de 5 anos. O que nos leva a adicionar R\$17179,00 de manutenção ao longo de 20 anos, considerando a substituição do banco de baterias e a substituição do inversor. Em 20 anos o custo com o sistema é em torno de 35 mil reais.

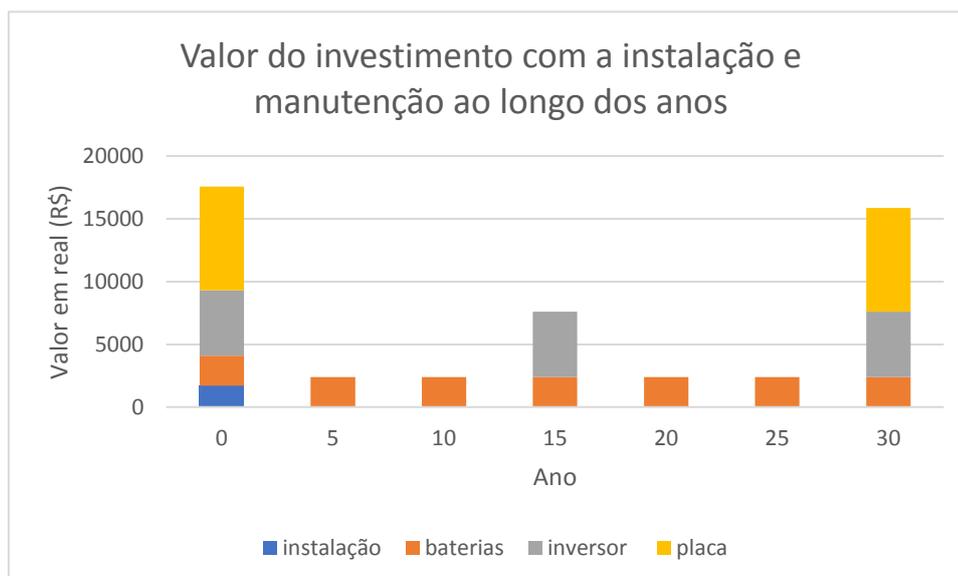
A conta de energia anual é dada por:

Tabela 3.15 Valores mensais da conta de energia antes do sistema ser instalado

MÊS	Consumo	Valor kwh	Valor conta
JANEIRO	521	0,53	276,13
FEVEREIRO	438	0,53	232,14
MARCO	524	0,53	277,72
ABRIL	528	0,53	279,84
MAIO	416	0,53	220,48
JUNHO	503	0,53	266,59
JULHO	508	0,53	269,24
AGOSTO	376	0,53	199,28
SETEMBRO	504	0,53	267,12
OUTUBRO	508	0,53	269,24
NOVEMBRO	693	0,53	367,29
DEZEMBRO	519	0,53	275,07
Valor médio mês			269,24

Considerando o valor do kWh dado no mês referente a Junho de 2021 e os respectivos descontos por ser uma habitação rural. O gasto anual com a conta de luz, fica em média em R\$3230,88. Com o sistema essa conta cai para R\$759,35 anuais, representando um desconto anual de R\$2471,52. Levando em conta só o desconto anual da conta de luz, em 14 anos o sistema está pago em instalação e manutenção (neste cálculo foi levado em conta apenas a economia na conta de luz, sem levar em conta os outros benefícios atribuídos ao sistema misto).

Gráfico 3.5 Valor do investimento no sistema ao longo dos anos



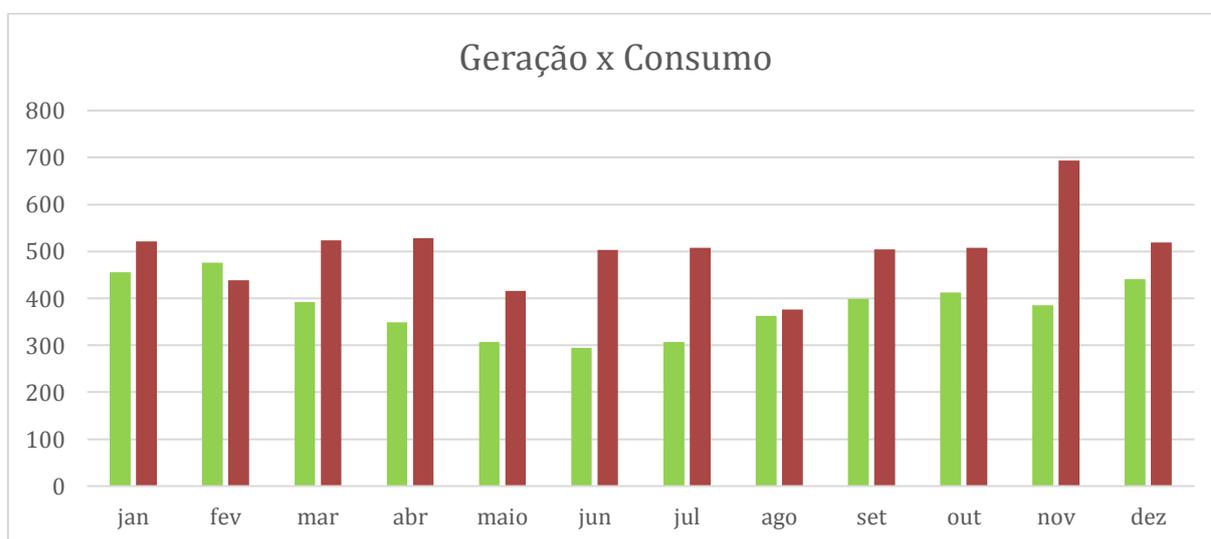
Fonte: elaborado pela autora de acordo com os dados do projeto.

O *payback* pode parecer elevado em relação a um sistema puramente *on-grid*, já que o gasto com a troca de baterias ao longo dos anos possui um valor significativo no sistema misto, porém quando se leva em conta o benefício que o sistema de armazenamento gera, evitando a perda de leite, o *payback* se reduz e o sistema misto se justifica por ser um investimento menor do que um sistema puramente *off-grid*, que seria a proposta que também resolveria o problema da queda de energia.

Tabela 3.16 Cálculo do desconto mensal com o sistema fotovoltaico

Mês	Irradiância	Geração (kWh)	Consumo (kWh)	Consumo- Geração (kWh)	Valor com o sistema (R\$)	Valor sem o sistema (R\$)	Desconto (R\$)
jan	5,691	455,8491	521	65,1509	34,529977	276,13	241,600023
fev	5,939	475,7139	438	-37,7139	-19,988367	232,14	252,128367
mar	4,897	392,2497	524	131,7503	69,827659	277,72	207,892341
abr	4,364	349,5564	528	178,4436	94,575108	279,84	185,264892
mai	3,837	307,3437	416	108,6563	57,587839	220,48	162,892161
jun	3,678	294,6078	503	208,3922	110,447866	266,59	156,142134
jul	3,833	307,0233	508	200,9767	106,517651	269,24	162,722349
ago	4,525	362,4525	376	13,5475	7,180175	199,28	192,099825
set	4,984	399,2184	504	104,7816	55,534248	267,12	211,585752
out	5,155	412,9155	508	95,0845	50,394785	269,24	218,845215
nov	4,806	384,9606	693	308,0394	163,260882	367,29	204,029118
dez	5,508	441,1908	519	77,8092	41,238876	275,07	233,831124
média	4,8515	388,60515	508	106,71895	56,5610435	269,24	205,9607295

Gráfico 3.6 Gráfico Geração x Consumo

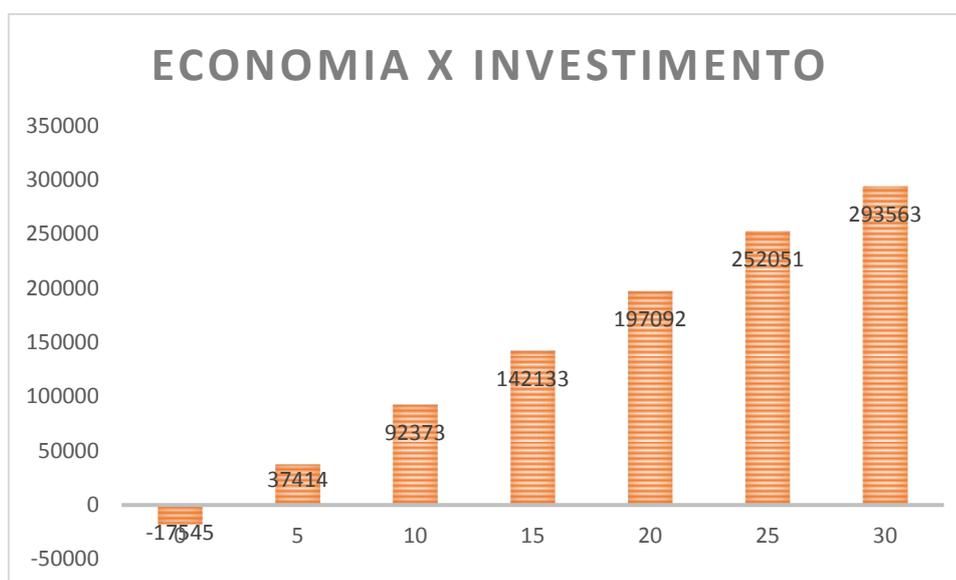


Fonte: elaborado pela autora, de acordo com os dados do projeto.

Porém, além do desconto dado pela conta de energia, considerou-se também o prejuízo evitado com o sistema *no-break*. A queda de energia atual na fazenda acontece em média 1 vez por mês, acarretando o prejuízo de 750 reais, somente considerando a perda do leite, sem considerar

os demais prejuízos a produção e a saúde do gado. O sistema fotovoltaico sanaria este problema, o que traria o lucro de R\$9000,00 no saldo anual. Com isso, o *payback* do sistema cai para 3 anos, o que significa que em 3 anos a economia gerada pelo sistema paga a instalação do mesmo e a manutenção correspondente a 20 anos de duração. A economia do sistema ao longo de 20 anos chega a R\$197092,00.

Gráfico 3.7 Economia gerada considerando o investimento e a manutenção do sistema ao longo dos anos



Fonte: elaborado pela autora.

3.9.1 Consideração tarifaria a longo prazo

Ao calcular o retorno de investimento de um projeto fotovoltaico há fatores relativos à demanda energética do Brasil que devem ser consideradas a longo prazo, pois a durabilidade do sistema é considerada em torno de 25 anos e sua geração de energia se mantém eficaz por este período. A variação da tarifa de energia é uma das vantagens garantidas ao sistema fotovoltaico que não sofre com as mudanças de bandeira em horário de pico, por exemplo. O adicional de tarifas na conta de luz se dá quando a energia gerada pelas hidrelétricas não consegue suprir o consumo do país, principalmente em horário de ponta, o que faz com que as usinas termoeletricas (que além de serem mais caras, são poluentes e utilizam de combustíveis fósseis para a geração) tenham que ser acionadas, causando assim um aumento no custo do kWh. Este problema se agrava quando as condições climáticas não são favoráveis e durante as crises hídricas, quando

os reservatórios de água estão abaixo do aceitável. A diversificação na matriz energética ajuda a solucionar os problemas mencionados já que traz outra fonte de energia para colaborar com a produção. O crescimento da representação das fontes renováveis na matriz é uma tendência mundial e vem ganhando o mercado brasileiro.

Atualmente, a inflação energética vem tendo um aumento significativo. Isso se deve a crise hídrica que o Brasil vive, proveniente de um período de seca. Segundo o Operador Nacional do Sistema (ONS) os reservatórios das usinas hidrelétricas do Centro-Oeste e Sudeste vem operando com apenas 22,7% da sua capacidade. Estes são responsáveis pela geração de cerca de 70% da geração hídrica e estão com os níveis mais baixos dos últimos 91 anos. (CNN, 2021). Em 2021, o reajuste das tarifas energéticas do Brasil registrou uma ascensão de 7,15% para os consumidores residenciais e a tendência esperada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) é de piora no quadro em 2022. Estudos preliminares apontam que as tarifas podem subir até 16,68% (UOL, 2021).

Segundo a Aneel, de 2001 a 2019, a tarifa média nominal de energia subiu 230%. (Greenvolt, 2021). Assim, a proteção garantida pelo sistema fotovoltaico mediante a inflação energética, passa a ser um benefício, blindando a conta de luz contra a variação tarifária e estagnando o valor do kWh ao longo dos anos.

Outra vantagem econômica do sistema em questão, consiste na valorização do patrimônio no qual ele foi instalado, que passa a ter um valor de mercado maior após a instalação.

4. CONCLUSÃO

O foco do trabalho consistiu em encontrar uma alternativa sustentável e economicamente viável para resolver o problema da constante interrupção da rede elétrica nas zonas rurais. O sistema proposto obteve sucesso em dimensionar um sistema fotovoltaico misto a fim de atender a demanda de uma pequena produção leiteira. O projeto de instalação foi realizado para diminuir o gasto mensal com energia e garantir a confiabilidade do sistema, resolvendo os problemas decorrentes da queda de fornecimento pelos frequentes acidentes nas linhas de transmissão.

Outros benefícios puderam ser atingidos por meio do uso da fonte solar, como a redução de poluentes lançados na atmosfera (o que seria a desvantagem caso fosse utilizado um gerador a gasolina para solucionar o problema do desperdício de leite nos momentos de falta de energia), além de custear parte da conta perante a concessionária e estagnar o preço do kWh ao longo dos próximos anos, perante a ameaça de um grande aumento inflacionário.

Conclui-se que a utilização da energia solar fotovoltaica é bastante promissora e que tem muito a crescer na matriz energética do país ao longo dos próximos anos, acompanhando um crescimento mundial. Os preços de mercado do custeio estão barateando e a tecnologia vem aumentando a eficácia dos componentes. É uma alternativa excelente na diversificação das fontes pelo Brasil, devendo ser incentivada.

Espera-se que o setor continue a crescer pelos próximos anos, gerando empregos e rentabilidade. No mercado há alternativas de financiamento tanto por instituições financeiras quanto por empresas privadas do ramo.

4.1. Sugestão de projetos futuros

Como projetos futuros, podemos ter alternativas dentro do sistema proposto. Uma possibilidade é o aumento da geração para atender além da produção e da propriedade rural, outros endereços do produtor, já que imóveis com a conta de luz cadastrada no mesmo CPF podem ser beneficiados com o crédito de energia gerado.

Um comparativo entre o sistema misto e outro tipo de sistema também pode ser utilizado para ver a viabilidade econômica de cada um e comparar suas vantagens e desvantagens.

Além disso, podemos fazer um levantamento entre outras fontes de energia possíveis de serem aplicadas ao local e o custo do kWh entre cada uma delas, vendo qual traria maior vantagem econômica.

No âmbito de consumo, alternativas como a troca de lâmpadas e equipamentos por outros mais modernos e com maior eficiência, podem ser estudados a fim de reduzir o preço da conta de energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, “**NBR 5410**: Instalações elétricas em baixa tensão”, 2004.

ABSOLAR- Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica, Panorama da solar fotovoltaica no Brasil e no mundo, Infográfico, 2021. Disponível em < <https://www.absolar.org.br/mercado/infoGráfico/> > Acesso: 09 Set. 2021.

AGÊNCIA BRASIL. População rural do Brasil é maior que a apurada pelo IBGE, diz pesquisa. 2015. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2015-03/pesquisa-diz-que-populacao-rural-do-brasil-e-maior-que-apurada-pelo-ibge>> Acesso em: 30 de maio 2018.

ALMEIDA, C. A. S.; FAGUNDES, G. R.; COSTA, S. S. Avaliação da qualidade do leite cru e das boas práticas agropecuárias nos municípios de andrelândia e Paula candido, 2018.

BRASIL. Ministerio da agricultura, pecuária e abastecimento. Instrução Normativa N°76, de 26 nov. 2018. Disponível em: < <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/saem-novas-regras-para-a-producao-de-leite> > Acesso em:07 Jul. 2021.

BRITO, (CRESESB). Módulos fotovoltaicos, Rio de Janeiro, 11 Jun. de 2008 Disponível em: < <http://www.cresesb.cepel.br/> > Acesso: 06 Jul. 2021.

CANAL SOLAR, Diodos de by-pass e de bloqueio nos sistemas de energia solar fotovoltaica, 2020 Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/diodos-de-bypass-e-de-bloqueio-nos-sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica/>> Acesso: 2 de Set. 2021.

CEMIG – Companhia energética de Minas Gerais – Valores de tarifas e serviços, 2021 Disponível em <<https://www.cemig.com.br/atendimento/valores-de-tarifas-e-servicos/>> Acesso: 8 Jul. 2021

CLIMATE-DATA.ORG. Clima: Guanhães-MG 2021 Disponível em: < <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais/guanhaes-25089/> > Acesso em 16 Jul. 2021

CNN BRASIL- Aneel cria nova bandeira tarifária e taxa extra da conta de luz é de R\$14,20, 2021 . Disponível em: < <https://www.cnnbrasil.com.br/business/aneel-faz-novo-reajuste-em-taxa-extra-da-conta-de-luz-em-meio-a-crise-hidrica/>> Acesso: 06 Set. 2021.

COPETTI, J. B.; MACAGNAN, M. H. Baterias em sistemas solares fotovoltaicos, 2007.

ELETROBRAS- Programa Luz para Todos, 2017. Disponível em <<https://eletrobras.com/pt/Paginas/Luz-para-Todos.aspx> > Acesso em:12 Jul. de 2021.

ENERGÊS- Inversor solar, 2021 Disponível em < <https://energes.com.br/inversor-solar/>> Acesso em 9 Set. de 2021.

FERIOLI, K. C. O. et al. Projeto de Sistema isolado (off-grid) para residência, 2014.

FINOCCHIO, M. A. F. Curso de energia solar fotovoltaica, 2006.

GREENVOLT- Inflação energética- Entenda o que é e como se proteger, 2019 Disponível em: <<https://greenvolt.com.br/inflacao-energetica-entenda-o-que-e-e-como-se-proteger/>> Acesso: 06 Set. de 2021.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Médias do Total Diário da Irradiação Global Horizontal para o Estado de MINAS GERAIS. Disponível em <http://labren.ccst.inpe.br/atlas2_tables/MG_glo.html> Acesso: 22 Jun de 2021.

JARDIM, Carolina da Silva, SALAMONI, Isabel, RUTHER, Ricardo *et al.* O potencial dos sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica em áreas urbanas: dois estudos de caso.. em: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 5., 2004, Campinas. Disponível em <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022004000200029&lng=en&nrm=abn>. Acesso: 13 Jul. de 2021.

MOURA, T. P. Sistema de aquaponia integrada com energia solar fotovoltaica: uma alternativa econômica para comunidades rurais. 2021.

NEOSOLAR – Inversor solar híbrido. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/loja/inversor-solar-off-grid-hibrido-epever-upower-hi-up3000-hm5042-50a-mppt-24-220v.html?gclid=CjwKCAjwr56IBhAvEiwA1fuqGmQWD_TGYOQw6KKWT0qKeCHQJT x3d45-9OEud8gD_MDTHXELiPJgfRoCMB4QAvD_BwE> Acesso: 14 Ago. 2021.

NUAYED, E. Fundamentos de sistemas fotovoltaicos: Sistemas individuais, 2019.

PEREIRA, A. C. Geração de energia para condomínio utilizando sistema fotovoltaico autônomo- estudo de caso em edifício residencial com seis pavimentos, 2012.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. Atlas brasileiro de energia solar. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <<http://doi.org/10.34024/978851700089>> Acesso em 10 Jul. 2021.

PONTO FRIO – Bateria Estacionaria Freedom, 2021 Disponível em: <https://www.pontofrio.com.br/bateria-estacionaria-freedom-df1500-12v-93ah-nobreak-solar-1517639148/p/1517639148?utm_medium=cpc&utm_source=GP_PLA&IdSku=1517639148&idLojista=90409&utm_campaign=3P_Automotivo_SSC&gclid=CjwKCAjw092IBhAwEiwAxR1lRni1Q1HIT_ZY3VYnVTtRe4w206StEvzeUow2C5MTQusCE_GJLIvHghoCVSUQAvD_BwE> Acesso : 1 Set. de 2021.

PORTAL SOLAR -Tipos de painéis fotovoltaicos, 2018. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>> Acesso em: 21 de novembro de 2018.

PORTAL SOLAR - Bateria solar, 2021 Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/bateria-solar.html> > Acesso em: 12 de Julho de 2021.

PORTAL SOLAR. Energia solar no Brasil. 2021 Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-no-brasil.html> > Acesso em: 12 de Julho de 2021.

PINHO, J. T. et GALDINO, M. A. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos, 2014.

PINTO, C. C. R. Estudo de um processo de formação de fitas de silício por CVD para aplicações fotovoltaicas, 2008.

SMETS, A. et al. Solar energy: The physics and engineering of photovoltaic conversion, technologies and systems, 2016.

SOLAR EDGE, Sobredimensionamento do inversor, 2020. Disponível em: <<https://www.solaredge.com/br/solaredge-blog/sobredimensionamento-do-inversor> > Acesso: 10 Ago. de 2021.

SUNEARTHTOOLS, 2021. Disponível em: <<https://www.sunearthtools.com/pt/tools/coordinates-latlong-sunpath-map.php>> Acesso em 3 Set. de 2021.

UOL – ECONOMIA. Após reajuste de 7% neste ano, energia pode subir ainda mais em 2022, 2021 Disponível em: <<https://economia.uol.com.br/noticias/estadao-conteudo/2021/08/24/apos-reajuste-de-7-neste-ano-energia-pode-subir-mais-do-que-o-dobro-em-2022.htm> > Acesso: 06 Set. 2021.

VERA, L. H. Programa computacional para dimensionamento e simulação de sistemas fotovoltaicos autônomos, 2004.

VILLALVA, M. G. Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações, 2015.