



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA



GABRIEL ENGELBERG DE MORAES

VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO EM UM HOSPITAL VETERINÁRIO DE DOURADOS

DOURADOS/MS

2022

GABRIEL ENGELBERG DE MORAES

VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO EM UM HOSPITAL VETERINÁRIO DE DOURADOS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à banca examinadora da
Faculdade de Engenharia da Universidade
Federal da Grande Dourados para a
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Mirko
Valenzuela Turdera.

Área de Concentração: 3.04.04.01-0 -
Geração da Energia Elétrica

DOURADOS/MS

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

M828v Moraes, Gabriel Engelberg De

Viabilidade Técnica e Econômica de um Sistema Fotovoltaico em um Hospital Veterinário de Dourados. [recurso eletrônico] / Gabriel Engelberg De Moraes. -- 2022.

Arquivo em formato pdf.

Orientador: Eduardo Mirko Valenzuela Turdera..

Coorientador: Orlando Moreira Júnior..

TCC (Graduação em Engenharia de Energia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2022.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Energia Fotovoltaica.. 2. Viabilidade.. 3. Geração Própria.. I. Turdera., Eduardo Mirko Valenzuela. II. Júnior., Orlando Moreira. III. Título.

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

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

ANEXO G - ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às 14:00 horas do dia 03 de Junho de 2022, realizou-se de forma remota via reunião em modo online e síncrona a defesa pública do Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Energia, intitulado VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM UM HOSPITAL VETERINÁRIO DE DOURADOS de autoria do discente GABRIEL ENGELBERG DE MORAES, como requisito para a aprovação no componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso II. Após a defesa e posterior arguição, a banca examinadora concluiu que o Trabalho apresentado deve ser:

(X) Aprovado

() Reprovado

O(A) discente declara ciência de que a sua aprovação está condicionada à entrega da versão final (encadernada, corrigida e assinada) do Trabalho de Conclusão de Curso, nos termos em que especifica o regulamento do componente curricular, em anexo ao Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia de Energia da UFGD. O(A) orientador(a) se responsabilizará pela verificação e aprovação das correções do manuscrito feitas pelo(a) discente para a elaboração da versão final.

OBSERVAÇÕES ADICIONAIS

DISCENTE

Nome: Gabriel Engelberg de Moraes

Assinatura: Gabriel Engelberg de Moraes

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Eduardo Mirko Valenzuela Turdera

Assinatura: M. Turdera

Membro: Orlando Moreira Júnior

Assinatura: [Assinatura]

Membro: Marlon Moreira Miagui

Assinatura: Marlon Moreira Miagui

RESUMO

A energia fotovoltaica tem ganhado espaço nos mercados de energia ao longo dos últimos anos, principalmente devido à sua possibilidade de uso em residências para geração própria de eletricidade, de modo que o consumidor se tornaria parcialmente independente da distribuidora de energia, e assim poderia trocar seu excedente de produção de energia por créditos com a sua concessionária local. O objetivo deste trabalho é realizar uma análise da viabilidade técnica e econômica de um sistema fotovoltaico instalado sobre um hospital veterinário (HV), na cidade de Dourados – MS. Inicialmente foi inspecionado o local para conhecer a área de instalação dos módulos. Logo depois foram colhidos dados climáticos da região, bem como o levantamento do consumo de energia elétrica do HV e os custos para instalação. Para a avaliação econômica utilizou-se os indicadores VPL, TIR, *PAYBACK* e CAE. Os resultados mostram que o projeto é tecnicamente viável e atrativo economicamente.

Palavras-chave: Energia Fotovoltaica. Viabilidade. Geração Própria.

ABSTRACT

Photovoltaic energy has gained space in the markets over the last few years, mainly due to its possibility of use in homes for its own generation of electricity, so that the consumer would become partially independent of the energy distributor, and thus can exchange their surplus energy production by credits with your local utility. The objective of this work is to carry out an analysis of the technical and economic feasibility of a photovoltaic system installed on a veterinary hospital, in the city of Dourados - MS. Initially, the site was inspected to get to know the area where the photovoltaic panels were installed. Soon after, climatic data from the region were collected, as well as a survey of the electricity consumption of the veterinary installation and the costs for installation. For economic evaluation, the NPV IRR, PAYBACK and CAE indicators are used. The results show that the project is technically viable and economically attractive.

Keywords: Photovoltaic Panels. Economical Feasibility. Distributed Generation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Oferta Interna de Energia Elétrica por fonte no Brasil.....	09
Figura 2: Hospital Veterinário.....	11
Figura 3: Sistema fotovoltaico conectado à rede.....	13
Figura 4: Componentes de um painel solar.....	32
Figura 5: Conectores MC4.....	33
Figura 6: Inversor de frequência.....	34
Figura 7: Sinalização.....	35
Figura 8: Fixação dos módulos do SFV.....	36
Figura 9: Disposição dos módulos do SFV.....	36
Figura 10: Barramento de equipotencialização.....	37
Figura 11: Caixa de proteção circuito CC (à esquerda) e circuito CA (à direita).....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados do SFV do hospital veterinário.....	18
Tabela 2: Relação de consumo, geração e excedente do SFV, em kWh.....	21
Tabela 3: Parâmetros utilizados para calcular a viabilidade econômica.....	22
Tabela 4: Resultados da análise financeira do SFV.....	25
Tabela 5: Resultados coletados do relatório do INVERSOR (mês de setembro).....	26
Tabela 6: Resultados coletados do relatório do INVERSOR (mês de outubro).....	27

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família que sempre me apoiou incondicionalmente ao longo de toda a minha graduação e principalmente nas fases difíceis dela.

Agradeço ao Prof. Dr. Orlando Moreira Júnior e ao Prof. Dr. Eduardo Mirko Valenzuela Turdera por toda a orientação, aos engenheiros de energia Marlon Miagui e Germano Caires, e à EVO BRASIL por todo apoio e dedicação ao longo do estudo.

A todos os professores da Faculdade de Engenharia de Energia, da UFGD, que tive o privilégio de conviver durante o curso e contribuíram grandemente para minha formação.

Aos meus amigos de turma Allan Vicente e Vitor Hugo, pelo apoio nas inúmeras horas de estudo e dedicação.

E por fim, a minha namorada Luana, que foi compreensiva, companheira e sempre esteve ao meu lado. Sem você seria impossível.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 ENERGIA FOTOVOLTAICA.....	11
2.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	12
2.3 INDICADORES ECONÔMICOS	13
2.3.1 PAYBACK	14
2.3.2 VALOR PRESENTE LÍQUIDO – VPL	15
2.3.3 TAXA INTERNA DE RETORNO – TIR	16
2.3.4 CUSTO ANUAL EQUIVALENTE - CAE	16
3. DESENVOLVIMENTO.....	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	22
5. CONCLUSÃO.....	28
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29
7. ANEXOS	32

1. INTRODUÇÃO

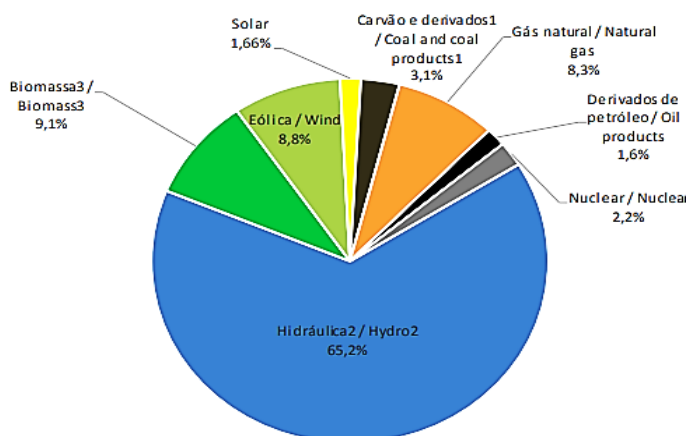
O ano de 2020 foi marcado pela pandemia que ocasionou grandes impactos na economia mundial e nacional. O consumo de energia elétrica em setores relevantes, foi diretamente influenciado por essa crise sanitária, entre eles os setores comercial, público e energético. No entanto, o setor residencial foi um dos mais abalados, em razão das políticas de distanciamento social e *home office* adotado por diversos segmentos da economia brasileira. (BEN, 2021).

Num recorte mais recente, a jornalista Angela Fernanda Belfort (2021) defende que o mundo está se adaptando à esse cenário e voltando a crescer, todavia, o retrato brasileiro acompanha lentamente essa retomada. A disparada da inflação e a crise energética devido à falta d'água nos reservatórios têm colocado mais usinas térmicas em operação, o que resulta numa conta de energia elétrica mais cara para o brasileiro.

Como alternativa para este panorama, tem-se buscado a diversificação da matriz elétrica brasileira. Dentre as opções do mercado está a geração a partir da energia solar fotovoltaica. A usina fotovoltaica é uma tecnologia voltada para a produção de energia elétrica de forma limpa e eficiente, e que tem crescido fortemente no mercado nos últimos anos.

De acordo com BEN 2021, hoje a energia solar representa 1,66% da oferta interna de energia elétrica no Brasil e 1,88% da capacidade instalada do país. A Figura 1 mostra as diversas fontes que compõem a oferta interna de energia elétrica do país.

Figura 1. Oferta Interna de Energia Elétrica por fonte no Brasil.



Fonte: (BEN 2021 – ano base 2020, Ministério de Minas e Energia, 2020).

A Figura 1 também revela a ampla participação das fontes de energia alternativas (renováveis) na matriz energética brasileira, com presença predominante das usinas hidrelétricas, em contrapartida a energia solar detêm pequena parcela mas tem recebido fortes investimentos e incentivos devido a seu potencial de rentabilidade econômica.

A energia solar pode ser utilizada para a geração de eletricidade pelo efeito fotovoltaico que acontece nas células, através de processos eletroquímicos que transformam a radiação solar capturada pelas placas, em eletricidade. (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

O sistema fotovoltaico é caracterizado por produzir energia tanto em locais sem acesso a rede de distribuição, onde é utilizado um sistema isolado (*off grid*), quanto em locais com acesso à energia elétrica, onde é empregado o sistema conectado à rede (*on grid*) que possibilita a redução de consumo de energia ou até mesmo é implementado para autoconsumo. Além dos módulos, o sistema fotovoltaico é composto por dispositivos que realizam o controle e a adaptação da corrente elétrica e por dispositivos de proteção, que tornam o sistema gerador robusto e seguro. Estes sistemas são considerados confiáveis e versáteis para a produção de energia. (NEOSOLAR, 2021).

A maioria dos edifícios hospitalares, tendem a possuir um elevado consumo de energia elétrica, que acontece em decorrência de seu funcionamento ser ininterrupto, ou seja, funcionando 24 horas por dia, durante os sete dias da semana. Assim, os gastos com o consumo de eletricidade no hospital veterinário tendem a ser elevados, abrindo espaço para fontes de geração própria, como a energia solar.

O projeto fotovoltaico em análise foi instalado e opera sobre o HV desde o final de agosto de 2021, o que torna dispensável novos cálculos de dimensionamento, contudo, os elementos que atestam sua viabilidade técnica, como disponibilidade de recurso solar, orientação dos módulos, disponibilidade de área, estética, demanda a ser atendida e outros fatores, serão discutidos ao longo deste estudo.

A análise econômica se pauta nos indicadores *Payback*, TIR (Taxa Interna de Retorno), VPL (Valor Presente Líquido) e CAE (Custo Anual Equivalente) para mostrar a viabilidade do sistema fotovoltaico instalado. E por fim, o confrontamento de dados para uma aplicação do mesmo valor investido no SFV, agora na poupança e na Selic, corrobora para a finalização do estudo.

A Figura 2 mostra a fachada do local sob análise deste trabalho.

Figura 2. Hospital Veterinário.



Fonte: (Google Maps, 2017).

Deste modo, o objeto de estudo se trata de um sistema de geração de energia solar através de placas fotovoltaicas, instalado sobre o telhado de um hospital veterinário do bairro Jardim Manoel Rasslem, na cidade de Dourados, em Mato Grosso do Sul.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ENERGIA FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida por meio da conversão direta da luz em eletricidade (Efeito Fotovoltaico), sendo a célula fotovoltaica, um dispositivo fabricado com material semicondutor, geralmente o silício, a unidade fundamental desse processo de conversão. (PINHO, 2014).

Segundo Campos *et al* (2010), o material semicondutor mais utilizado na produção de células fotovoltaicas é o silício, segundo material mais abundante do planeta Terra. Dentre suas formas, destacam-se o monocristalino, o policristalino e o amorfo. O silício amorfo apresenta a maior eficiência energética considerando toda a cadeia de produção, por se tratar de um filme fino e, portanto, necessitar de uma menor quantidade de energia na fabricação das células.

A irradiação é a grandeza usada para expressar a energia solar que incide em uma superfície plana ao longo de um certo intervalo de tempo. Usualmente expressa em kWh/m².dia ou kWh/m².ano. Refere-se ao valor da energia solar acumulada ao longo de determinado período, em base diária, mensal ou anual. (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

De acordo com VILLALVA (2010), o funcionamento do sistema está relacionado com a incidência solar nos painéis fotovoltaicos, onde os fótons devem possuir energia suficiente para criar uma excitação dos elétrons do material semicondutor empregado, e por consequência, gerar uma corrente elétrica no circuito fechado. Basicamente, o painel fotovoltaico absorve a luz solar e a conduz, convertendo o potencial de luminosidade em energia elétrica.

2.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os sistemas fotovoltaicos podem ser empregados em larga escala, onde grandes usinas de geração solar são construídas em locais afastados dos grandes centros urbanos, e necessitam de linhas e redes de transmissão para atender os consumidores finais, essa modalidade é conhecida como geração centralizada (GC). Todavia, a produção de energia solar também pode ser aplicada em menor escala, como é o caso sob estudo, onde o sistema é ligado à linha de distribuição da concessionária, e devido ao seu porte e a energia gerada ser consumida no mesmo local é caracterizado como uma geração distribuída (GD). (NEOSOLAR, 2021).

De acordo com VILLALVA & GAZOLI (2012), os sistemas fotovoltaicos são, resumidamente compostos pelos módulos fotovoltaicos, que produzem energia elétrica em corrente contínua, pelos inversores, que realizam a conversão da corrente elétrica contínua (CC) para alternada (CA), por dispositivos que realizam a proteção do sistema e, um ou mais, medidores de energia.

A seguir, a Figura 3 mostra os componentes deste modelo de geração elétrica.

Figura 3. Sistema fotovoltaico conectado à rede.



Fonte: (MITRATECH, 2019).

2.3 INDICADORES ECONÔMICOS

Não há uma regra geral para determinar a viabilidade econômica de um SFV conectado à rede, pois cada cliente/contratante possui demandas e necessidades específicas, como é o caso sob estudo.

A análise financeira deve levar em consideração a expectativa de vida útil mínima, que neste estudo abrange a durabilidade dos equipamentos, deste modo, o ciclo de vida adotado para este empreendimento é medido em anos, num total de 25 anos. A taxa mínima de atratividade (TMA) para o segmento solar, é definida em 10% ao ano, e é tida como o referencial mínimo de retorno desejado sobre o capital investido em um SFV. (EVO BRASIL ENERGIA, 2021).

O fluxo de caixa (FC) indica entradas e transferências financeiras no período fixado, detalhando também a origem de todo o dinheiro e sua aplicação, além do resultado do fluxo financeiro da empresa. Em uma análise de FC comum, identifica-se o capital de giro e o capital de investimento de uma empresa, ou seja, a quantidade de dinheiro disponível para executar operações de negócios e concluir transações.

Todavia, por se tratar de um investimento em geração solar onde, no caso em estudo, não há a entrada de receitas explícitas, apenas capital fornecido para o empreendimento, passou-se a assumir a economia com consumo elétrico, após a instalação do SFV, como receita anual no fluxo de caixa.

A rentabilidade da caderneta de poupança, a uma taxa de 4% ao ano (em 2020), tem sido parâmetro para comparação há vários anos. Onde confronta-se o capital investido no decorrer do projeto com uma aplicação de mesmo valor na poupança, e dentro do mesmo período, ou seja, do ciclo de vida do sistema. (NEOSOLAR, 2021).

No entanto, o capital poupado quase sempre resulta em projeções desvantajosas quando confrontado ao capital investido no SFV, logo, trata-se de uma prática comum porém injusta, uma vez que dificilmente o resultado da aplicação será mais viável para a poupança

A aquisição de títulos públicos federais pelo Tesouro Direto é uma opção de investimento que proporciona diferentes tipos de rentabilidade, entre elas está a taxa de juros básica da economia, ou taxa Selic. (PORTALSOLAR, 2021).

A taxa básica do país é usada como referência para calcular tanto a remuneração de alguns investimentos, quanto o custo do crédito, inclusive do financiamento imobiliário. Para controlar a inflação, o Banco Central tem elevado a taxa Selic, que está no patamar de 7,75% a.a, o que gera grande impacto na economia brasileira. (CARDOSO, 2021).

Para a análise em questão, considera-se um possível investimento com a rentabilidade da taxa básica de juros, e para o sistema fotovoltaico comprovar sua viabilidade, ele deve obter rentabilidade superior ou então gerar uma economia maior que a Selic.

2.3.1 PAYBACK

O *payback* (PB) é o período de tempo necessário para que se obtenha retorno do investimento feito em alguma aplicação. Esse indicador é muito utilizado para aplicações elétricas e de eficiência energética, com intuito de avaliar o tempo de pagamento do investimento, neste caso do sistema fotovoltaico.

Para ASSAF NETO (2002) o *payback* pode ser encontrado pela relação representada na equação 1.0:

$$\text{Payback} = \frac{\text{Investimento inicial}}{\text{Parcela anual}}$$

Eq. (1.0)

No Brasil, o *payback* pode variar de acordo com o valor da tarifa cobrada em cada estado, pois num dado consumo, quanto mais cara a tarifa, mais rápido o investimento se paga. Em contrapartida, no caso de uma fatura baixa, por pouco consumo, a amortização do

valor recairá sob uma parcela pequena, assim, tal parcela pode não ser suficiente para recompensar o dinheiro. (MEINBERG, 2018).

2.3.2 VALOR PRESENTE LÍQUIDO – VPL

Segundo GITMAN (2010), o método VPL (Valor Presente Líquido) busca trazer o valor de fluxo do investimento para o tempo presente, por meio da utilização de uma taxa de juros como referência, subtraindo ainda o investimento inicial.

O cálculo do VPL pode ocasionar três tipos de resultados:

- a) VPL positivo, $VPL > 0$, isto é, os benefícios obtidos com o fluxo de caixa são suficientes para cobrir os custos, logo, o investimento é viável.
- b) VPL negativo, $VPL < 0$, o projeto é tratado como não viável.
- c) VPL igual a zero, trata-se de um ponto de indiferença, pois o investimento rendeu apenas o capital aplicado.

O VPL pode ser encontrado pela equação 1.1:

$$V_{PL} = \sum \frac{FC_n}{(1+i)^n} \quad \text{ou} \quad V_{PL} = -I_0 + (R - C) \cdot \frac{(1 - a^n - 1)}{(a \cdot (a + 1))^n}$$

Eq. (1.1)

Sendo:

V_{PL} = Valor presente líquido;

FC_n = Fluxo de caixa do ano referência;

i = Taxa de juros;

n = Período;

$-I_0$ = Investimento inicial;

R = Receita (valor anual);

C = Custos (manutenção),

a = Taxa de juros a ser considerada.

Para este estudo, o saldo final do cálculo do VPL é analisado como atrativo ou não, sendo assim um importante indicador de viabilidade.

2.3.3 TAXA INTERNA DE RETORNO – TIR

Para LANDEIRA (2013), o método TIR (Taxa Interna de Retorno) está diretamente relacionada ao Valor Presente Líquido, sendo dimensionada de forma com que o VPL seja igual a zero, isto é, a TIR independe das variações de mercado e representa a taxa em que os valores de entrada e saída do investimento se igualam, ou seja, se anulam.

A viabilidade do investimento pode ser confirmada em função da TIR calculada que deve ser superior à rentabilidade da caderneta de poupança, e também superior à taxa Selic, qualquer cenário diferente deste, é considerado como um investimento inviável ou não recomendável.

A TIR pode ser calculada pela equação 1.2:

$$\sum_{i=1}^n \frac{FC_n}{(1 + Tir)^n} - I = 0$$

Eq. (1.2)

Sendo:

FC_n = Fluxo de caixa do ano referência;

Tir = Taxa interna de retorno;

n = Período;

I = Investimento inicial.

2.3.4 CUSTO ANUAL EQUIVALENTE - CAE

De acordo com Duarte *et al* (2007), o Custo Anual Equivalente (CAE) consiste em encontrar uma série anual uniforme que equipare-se aos fluxos de caixa (tanto receitas quanto despesas) dos investimentos descontados à taxa mínima de atratividade (TMA). O projeto mais viável é aquele que tiver o maior saldo positivo.

O CAE é dado pela equação 1.3:

$$CAE = I * \left[\frac{(1 + i)^n * i}{(1 + i)^n - 1} \right] \pm R$$

Eq. (1.3)

Sendo:

I = Investimento inicial

i = Taxa mínima de atratividade;

n = Vida útil;

R = (+) Receita (-) Despesa anualizada.

A avaliação do CAE baseia-se na melhor alternativa que o investimento ou empreendimento possa gerar, seja o maior benefício anual ou o menor custo anual. No caso sob estudo, um CAE positivo indica um investimento viável, pois indica o quanto o contratante iria economizar anualmente com o SFV.

3. DESENVOLVIMENTO

O estudo caracteriza-se como uma abordagem quantitativa, uma vez que procura validar uma metodologia, sem partir para as abordagens mais amplas e complexas, como seria o caso de uma pesquisa qualitativa.

O levantamento de dados iniciou-se por meio de fotografias do local, que foram capturadas com a câmera de um smartphone. Os dados sobre a irradiação solar da região, fornecidos pelo site do CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito), assim como os dados de insolação para Dourados - MS, que foram obtidos pela EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), estão disponíveis nos Anexos 7.1 e 7.8, ao final deste estudo.

A coleta de dados da performance do SFV foi realizada através do site do fabricante do INVERTOR agregado ao sistema, tal levantamento proporcionou a realização de uma comparação entre o desempenho real obtido *in loco* e as previsões de geração elétrica.

A escolha dos painéis do SFV instalado segue a mesma metodologia utilizada pela empresa solar em seu dia-a-dia, a qual utiliza os seguintes parâmetros: dados de consumo de eletricidade do HV, coordenadas geográficas do local, inclinação e direção do telhado e suas características construtivas, uma vez que a durabilidade estrutural e espaço disponível para fixação dos módulos causam impacto no porte deste sistema.

A lista de equipamentos e serviços que foram fornecidos pela empresa, além da descrição dos componentes foram listados no Anexo 7.1.

As principais características técnicas do SFV em estudo foram inseridas na Tabela 1.

Tabela 1: Dados do SFV do hospital veterinário.

ÁREA DO TELHADO DISPONÍVEL	384 m ²
ÁREA DO PAINEL FOTOVOLTAICO (01 unidade)	2256×1133×35mm ² ou 2,56 m ²
ÁREA UTILIZADA PELOS PFs (69 módulos fixados sobre o telhado)	176m ²
INCLINAÇÃO DO TELHADO	12°
CONSUMO MÉDIO MENSAL DO HV	2.520 kWh/mês
*TEMPO MÉDIO DE INSOLAÇÃO	6,8h
**IRRADIAÇÃO MÉDIA NA REGIÃO	5 kWh/m ² .dia
***EFICIÊNCIA GLOBAL DO SFV	75%
POTÊNCIA DOS MÓDULOS	530W
POTÊNCIA INSTALADA	36,57 kWp

*Número de horas que o Sol se encontra descoberto;

** Taxa da radiação solar incidente em uma superfície, por unidade de área (W/m²) ;

***Valor adotado para perdas, que envolve cabeamento, equipamentos, inclinação e orientação dos módulos;

Fonte: (EVO BRASIL ENERGIA, 2021. EMBRAPA, 2017. CRESESEB, 2021).

De acordo com a NEOSOLAR (2021), a potência instalada em Wp (Watt pico) do sistema solar será correspondente à necessidade de consumo, dividido pelas horas de

insolação média do ano (Anexo 7.8), que corresponde ao período que o Sol está descoberto, ou seja, a quantidade de brilho solar em certo local num certo tempo. Assim, temos que:

$$P(Wp) = \frac{2.520\text{kWh}}{(24\text{h} \times 30 \text{ dias}) \text{ ou } 720\text{h}}$$

$$P(Wp) = 3.500\text{Wh}/6,8\text{h} = 514 \text{ W} \quad \text{Eq. (1.4)}$$

Desta forma, o projeto necessita de um módulo solar de pelo menos 514 W para atender a demanda do HV. Tem-se que, conforme a Tabela 1, o módulo dimensionado pela empresa solar para o SFV possui 530W de potência, logo, atende esta questão técnica.

O principal motivo da implantação do SFV é atender o consumo médio mensal do HV, que é de 2.520 kWh/mês e, deste modo, diminuir as despesas junto à concessionária local, além de fazer uso de seu sistema de créditos de energia, ao injetar o que foi gerado diretamente na rede elétrica.

Para fazer uso deste sistema, basicamente, o SFV deve injetar na rede todo mês mais energia do que o contratante consome, gerando assim um excedente. Todavia, se a geração de energia não for suficiente para suprir às necessidades do HV, a concessionária fornece o restante, caso o contratante ainda não tenha créditos de energia suficientes para abater esta demanda. Segundo a NEOSOLAR (2021), os créditos de energia gerados são válidos por 60 meses.

Após o levantamento, por se tratar de um sistema recentemente instalado, foi necessário estimar sua geração média mensal. Segundo a NEOSOLAR (2021), a geração do SFV pode ser calculada por:

$$\text{Geração} = \text{Tempo} * \text{Irradiação} * \text{Potência} * \text{Eficiência}$$

Eq. (1.5)

Sendo:

Geração = em kWh/mês;

Tempo = em dias (mês);

Irradiação = em kWh/m².dia;

Potência = em W;

Eficiência (global) = em %.

A estimativa de geração para o mês de Janeiro é calculada a seguir:

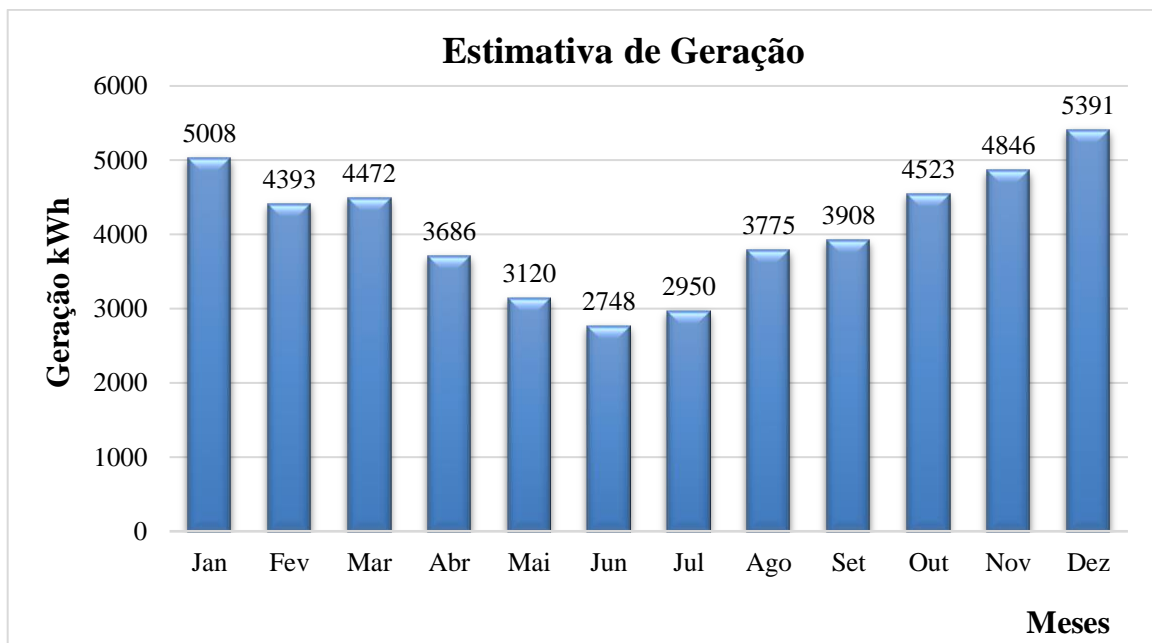
$$Geração_{jan} = 31dias * 5.890Wh/m^2.dia * 530W * 0,75\% = 72.579,53Wh/mês$$

$$Geração_{jan} = 72.579,53 * 69módulos = 5.007.987,23Wh/mês$$

ou **5.008 KWh/mês**

Os demais meses do ano foram calculados da mesma forma, e os resultados obtidos plotados em um gráfico, conforme é apresentado no Gráfico 1.

Gráfico 1: Estimativa de geração de energia do SFV, em kWh/mês.



Fonte: (Próprio autor, 2021).

Os dados obtidos mostram que em quase todo o ano, a produção mensal de energia irá superar, com certa folga, o consumo do HV, no entanto, no período de maio a julho, elas podem se igualar ou até a geração ser insuficiente, devido a menor irradiação solar e condições climatológicas da época, que causam a redução da geração do SFV.

A Tabela 2 traz a relação de consumo médio do HV de janeiro a dezembro do ano, a geração média mensal, estimada anteriormente e apresentada no Gráfico 1, e por fim, a energia excedente, resultante da diferença entre o que foi gerado e o que foi consumido.

Tabela 2: Relação de consumo, geração e excedente do SFV, em kWh.

CONSUMO MÉDIO		GERAÇÃO ESTIMADA	EXCEDENTE
Janeiro	2.029 kWh	5.008 kWh/mês	2.979 kWh
Fevereiro	2.100 kWh	4.393 kWh/mês	2.293 kWh
Março	2.032 kWh	4.472 kWh/mês	2.440 kWh
Abril	2.103 kWh	3.686 kWh/mês	1.583 kWh
Mai	2.201 kWh	3.120 kWh/mês	919 kWh
Junho	2.877 kWh	2.748 kWh/mês	-129 kWh
Julho	3.235 kWh	2.950 kWh/mês	-285 kWh
Agosto	2.751 kWh	3.775 kWh/mês	1.024 kWh
Setembro	2.813 kWh	3.908 kWh/mês	1.095 kWh
Outubro	3.155 kWh	4.523 kWh/mês	1.368 kWh
Novembro	2.788 kWh	4.846 kWh/mês	2.058 kWh
Dezembro	2.157 kWh	5.391 kWh/mês	3.234 kWh
Médio	2.520 kWh/mês	4.150 kWh/mês	*

Fonte: (Próprio autor, 2021).

A Tabela 2 mostra a estimativa do excedente gerado para o contratante obter créditos de energia, no entanto, o aumento no consumo médio mensal, pós instalação do SFV, é comum no segmento, o que significa num cenário mais realista, que o excedente estimado para o mês de dezembro, por exemplo, pode não ocorrer.

Nota-se também, pela análise de dados, que a geração de energia do SFV é superior quase em duas vezes o consumo em certos meses, o que não significa um superdimensionamento, uma vez que o aumento de consumo é esperado neste caso, uma vez que o contratante visa uma ampliação e aumento da demanda do HV num futuro breve.

No período do ano em que o SFV não suprir a demanda, o contratante pode usufruir do sistema de créditos de energia excedente, que é suficiente para equalizar essa diferença, e deste modo faturar apenas o custo de disponibilidade, ou taxa mínima, que refere-se a quantia cobrada pela concessionária da região para que seja disponibilizado o serviço de eletricidade ao local.

O responsável por essa tarefa é o relógio bidirecional, fornecido pela concessionária e instalado junto ao padrão de entrada, que realiza a medição tanto do que foi consumido, como também a quantidade de energia que o SFV injetou na rede.

A Tabela 3 traz os parâmetros utilizados para analisar a viabilidade econômica do SFV do hospital veterinário.

Tabela 3: Parâmetros utilizados para calcular a viabilidade econômica.

ITEM	VALOR
KIT FOTOVOLTAICO	R\$ 91.040,92
*SERVIÇO DE ENGENHARIA	R\$ 23.900,00
MANUTENÇÃO (PERÍODO DE GARANTIA)	R\$ 6.000,00
CAPITAL INVESTIDO	R\$ 120.940,92
VIDA ÚTIL	25 anos
TAXA DE JUROS (FINANCIAMENTO)	10,68% a.a
TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE	10%
TARIFA COM ENCARGOS**	0,86 R\$/kWh
DESPESA MÉDIA MENSAL	R\$ 2.167,20
DESPESA LÍQUIDA EVITADA A.A	R\$ 26.006,40

*Consultoria, projeto e execução;

**O reajuste anual na tarifa de energia não foi considerado, tendo em vista a instabilidade do país e uma política não definida para o setor energético nos próximos anos;

Fonte: (Próprio autor, 2021).

A despesa líquida evitada trata-se do valor gasto com consumo elétrico anual pelo HV, que após a instalação do SFV, é tratada como receita para análise do fluxo de caixa, que serão melhor abordados no próximo tópico.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O *payback* obtido por meio da Eq. 1.0 para o capital investido no SFV, é dado por:

$$I) PB_{SFV} = \frac{R\$ 120.940,92}{R\$ 26.006,4} \quad PB_{SFV} = 4,65 \text{ anos ou } \cong 56 \text{ meses.}$$

O *payback* indica o tempo de retorno do investimento no SFV, que neste caso, seria de quase 5 anos, ou mais precisamente, 56 meses, contudo, trata-se de uma análise superficial, pois este indicativo econômico não considera os fluxos de caixa produzidos depois que o investimento foi recuperado, o que trata-se de uma desvantagem, pois após o investimento ter sido recuperado, ele pode gerar lucro, uma vez que o capital gerado era destinado para abater o investimento, desta forma, a análise financeira necessita de outros indicadores para aferir sua viabilidade.

Segundo ASSAF NETO (2002), a despesa líquida evitada é encontrada por:

I) Despesa evitada anual é dada por:

$$\text{Consumo Médio}_{\text{mensal}} \times \text{Tempo}_{\text{meses}} \times \text{Tarifa Elétrica} \quad \text{Eq. (1.6)}$$

II) Logo, temos:

$$2.520 \text{ kWh/mês} \times 12 \text{ meses} \times 0,86 \text{ R\$/kWh} = \mathbf{26.006,40 \text{ R\$/ano}}$$

III) Agora podemos obter a despesa líquida evitada total, referente à todo ciclo de vida do investimento (25 anos):

$$26.006,40 \text{ R\$/ano} \times 25 \text{ anos} = \mathbf{R\$ 650.160,00}$$

Agora, é possível calcular o VPL (Eq. 1.1) com o seguintes dados:

I) O fator de recuperação de capital (FRC) trata-se de um fator de amortização, e pode ser encontrado por:

$$\text{FRC} = \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} \right) \quad \text{Eq. (1.7)}$$

II) Onde (i) refere-se a taxa de juros, neste caso, do financiamento, que é de 10,68% ou 0,107 e (n) o período, para 25 anos, logo:

$$\text{FRC} = \left(\frac{(1+0,107)^{25} - 1}{0,107 \cdot (1,107)^{25}} \right) = 8,609.$$

III) Agora, por meio da Eq. 1,1, o VPL pode ser calculado:

$$\text{VPL} = - 120.940,92 + 26.006,40 \cdot 8,609 \rightarrow \mathbf{VPL = 102.948,18}$$

A TIR é encontrada a seguir, pela Eq. 1.2:

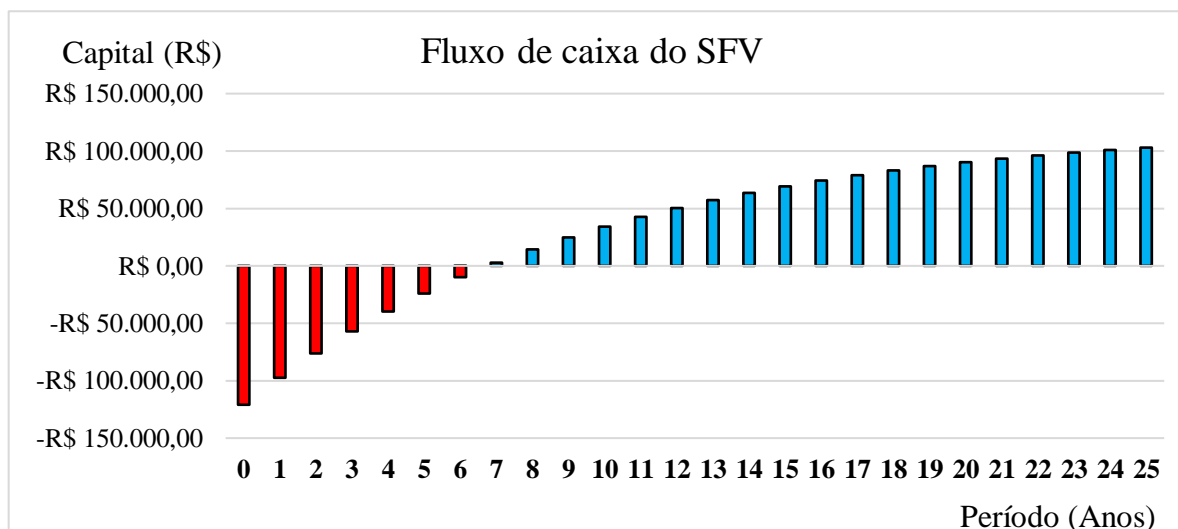
- I) A TIR para o SFV é calculada para as seguintes taxas: $i_{\min} = 10\%$ e $i_{\max} = 20\%$.
- II) $VPL + = -120.940,92 + 26.006,4 * \left(\frac{(1,10)^{25} - 1}{0,10 * (1,10)^{25}} \right) = 115.120,21$
- III) $VPL - = -120.940,92 + 26.006,4 * \left(\frac{(1,20)^{25} - 1}{0,20 * (1,20)^{25}} \right) = 7.728,01$
- IV) $TIR = i_{\min} + \frac{i_{\max} - i_{\min}}{1 + \left[\frac{VPL -}{VPL +} \right]} = 10\% + \frac{20\% - 10\%}{1 + \left[\frac{7.728,01}{115.120,21} \right]} = \mathbf{0,19 \text{ ou } 19\%}$

Finalmente, o CAE para o SFV pode ser encontrado pela Eq. 1.3:

- I) $CAE = -I * \left(\frac{1}{FRC} \right) + (R)$
- II) $CAE = -120.940,92 * (1/8,609) + (26.006,40)$
CAE = 11.958,20
- III) O CAE ao longo dos 25 anos será:
 $R\$ 11.958,20 * 25 \text{ anos} = R\$ 298.955,00$
- IV) O CAE obteve resultado inferior a Despesa Líquida Evitada (Anual), que é de R\$ 26.006,40, além disso, num período de 10 anos, o investimento foi quase todo recuperado, conforme é demonstrado abaixo:
R\$ 11.958,20 * 10 anos = R\$ 119.582,00

Agora, o fluxo de caixa do SFV pode ser desenvolvido, como é visto no Gráfico 2:

Gráfico 2: Fluxo de caixa do sistema fotovoltaico do hospital veterinário.



Fonte: (Próprio autor, 2021).

O ano zero do FC abrange o capital inicialmente investido, de R\$ 120.940,92, que foi pago já no sétimo ano do ciclo, destaca-se ainda, que em 72% do período analisado (18 anos), o empreendimento apresentou uma boa saúde financeira, no qual o custo anual equivalente conseguiu suprir as despesas assumidas e previstas no caixa.

Sob esta ótica, o investimento é considerado viável, mas quanto a sua atratividade, irá depender da rentabilidade calculada.

Os dados para elaboração do fluxo de caixa estão disponíveis no Anexo 7.6.

Os resultados obtidos para o investimento no SFV foram inseridos na Tabela 4.

Tabela 4: Resultados da análise financeira do SFV.

ITEM	VALOR
INVESTIMENTO INICIAL	R\$ 120.940,92
DESPESA LÍQUIDA EVITADA (anual)	R\$ 26.006,40
DESPESA LÍQUIDA EVITADA TOTAL (25 anos)	R\$ 650.160,00
VPL	R\$ 102.948,18
TIR	19%
CAE	R\$ 11.958,20

Fonte: (Próprio autor, 2021).

Os resultados obtidos na Tabela 4 mostram que o investimento se apresenta viável, o que significa que a despesa líquida evitada (R\$ 26.006,40), proveniente de um custo evitado ao não consumir energia elétrica da concessionária, é maior que o gasto anual do investimento no SFV. Também obteve um VPL positivo, portanto, o empreendimento é atrativo.

A TIR obtida para o SFV, de 19%, é mais atrativa que uma aplicação na poupança, com taxa de 4% a.a, e também mais viável que um possível investimento com a rentabilidade da taxa Selic (7,75% a.a), e por fim, também é superior a TMA de 10% do mercado.

A despesa líquida evitada total ao longo dos 25 anos é de cerca de R\$ 650.160,00, isto significa que o contratante economizaria este montante ao implementar o projeto solar, que trata-se de um panorama melhor do que o retorno financeiro do capital inicial aplicado na poupança, que ao final do ciclo de vida chegou aos R\$ 322.408,70, menos da metade do valor economizado com o SFV.

As projeções da aplicação na caderneta de poupança, com o mesmo capital inicial e período idênticos, estão disponíveis no Anexo 7.7.

A partir do site da fabricante, foram gerados relatórios de desempenho do INVERSOR de frequência agregado ao sistema, deste modo, realizou-se um comparativo da performance real do SFV com as estimativas de geração do Gráfico 1. Os dados fornecidos para o mês de setembro foram listados na Tabela 5:

Tabela 5. Resultados coletados do relatório do INVERSOR (mês de setembro).

Referência	SETEMBRO
Consumo	2.812,80 kWh
Geração	3.870,80 kWh
Injetada	2.360 kWh
Desempenho	83,61%
Faturado	R\$ 171,82

Fonte: (Próprio autor, 2021).

A Tabela 5 destaca que geração de energia elétrica proporcionada pelo sistema fotovoltaico, obteve um ótimo desempenho, de quase 84%, o que reforça a viabilidade deste modelo de geração. De acordo com SHARMA & PATEL (2015), na prática, as turbinas eólicas modernas apresentam um rendimento de cerca de 40%,

A geração foi superior ao consumo faturado, isto é, o sistema gerou quase 40% a mais que o consumo do hospital veterinário naquele mesmo período. O valor injetado na rede foi de 2.360 kWh, em decorrência do mês de agosto não ter gerado energia em sua totalidade, uma vez que o sistema entrou em operação apenas no final do mês, e por isso foi desconsiderado da análise.

O valor faturado para o mês de setembro, segundo o relatório, foi de R\$ 171,82, o que representa 7% do custo com a conta de luz caso não houvesse o SFV, de modo que, o contratante teria que arcar com 100% da fatura de energia.

Para o mês de outubro, o SFV foi bastante influenciado pelo período chuvoso e dias nublados decorrentes do clima da região, mesmo assim, obteve bons resultados, como mostra a Tabela 6.

Tabela 6. Resultados coletados do relatório do INVERSOR (mês de outubro).

Referência	OUTUBRO
Consumo	3.155,40 kWh
Geração	3.642,40 kWh
Injetada	2.117 kWh
Desempenho	72,25%
Faturado	R\$ 176,40

Fonte: (Próprio autor, 2021).

No mês de outubro, o SFV gerou menos energia que no mês anterior, tendo um desempenho inferior (72,25%) por causa das condições climáticas já citadas, e ainda houve um aumento de 12% no consumo do hospital veterinário. Todavia, a geração foi superior em 15% à demanda, logo, também gerou excedente.

O comparativo entre os dados estimados na Tabela 2 e o desempenho real dos módulos, foi afetado pela não renovação do contrato de pós venda entre a empresa solar, responsável pelo projeto e execução do sistema, e o contratante (HV), desta maneira, não foi possível ter acesso a mais relatórios de desempenho, de modo a repelir quaisquer outras análises.

Entretanto, os dois relatórios positivos fornecidos pelo INVERSOR atestam a viabilidade técnica do SFV, a qual obteve um bom desempenho em seu pouco tempo de operação, e também evidenciam o aumento do consumo médio logo após o sistema entrar em operação, o que já era esperado.

5. CONCLUSÃO

Os resultados alcançados, corroboraram para que o sistema cumprisse sua função técnica ao gerar a energia mínima necessária, e ainda dispor de uma energia excedente. Ainda, o mesmo se mostrou viável economicamente, vide os resultados para *PAYBACK* (4,65 anos/56 meses), VPL (R\$ 102.948,18), TIR (19%), e CAE (R\$ 11.958,20), indicadores que atestaram a viabilidade do projeto.

Todavia, é preciso ponderar que foram feitas simplificações nesta análise, de modo que foi realizado um levantamento de dados por meio de uma estimativa baseada em médias de valores de radiação solar na cidade de Dourados. Além do fato do sistema não dispor de uma amostragem real de dados para uma análise mais ampla, sua eficiência como um todo possa ter sido superestimada, devido à não realização de seu dimensionamento e a impossibilidade de obtenção de mais relatórios de desempenho.

Desta maneira, para um estudo mais detalhado e criterioso, é necessário uma análise que inclua outras variáveis, como, por exemplo, incentivos governamentais de financiamento para implantação de SFV, atualizações dos encargos e tarifas nas faturas de energia, comparação com outras práticas de investimentos, como os fundos imobiliários e também com outros tipos de fonte, como os geradores eólicos.

Como sugestão para pesquisas futuras, a realização de estudos para a fixação de mais módulos, com o reposicionamento dos exaustores, de modo a aumentar ao máximo a potência gerada e atender as demandas futuras do local. Por fim, a coleta de dados diante um panorama mais amplo, de pelo menos doze meses, seria bem vinda para atualização dos cálculos financeiros e técnicos, e assim, agregar mais credibilidade ao estudo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, **Norma Brasileira - Instalações Elétricas de Baixa Tensão NBR 5410:2004** versão corrigida, 2008.

ABNT, **Norma Brasileira - Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição.** NBR 16149:2013.

ASSAF NETO, Alexandre. **Matemática financeira e suas aplicações.** 7. Ed. São Paulo: Atlas, 2002.

AYRÃO, V. **Energia solar fotovoltaica no brasil: Conceitos, aplicações e estudos de caso.** Copper Alliance, 2019.

BELFORT, Angela Fernanda. *Jornal Digital JC.* Recife. 2021. Disponível em: <<https://jc.ne10.uol.com.br/economia/2021/10/13613592-inflacao-crise-energetica-desemprego-por-que-brasil-destoa-do-mundo-e-nao-consegue-engrenar-mesmo-com-a-pandemia-em-baixa.html>> Acesso em 19 de outubro de 2021.

BEN 2021. **Balanco Energético Nacional - EPE [Empresa de Pesquisa Energética], Ministério de Minas e Energia. 2021: Ano base 2020.** Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br>>. Acesso em 06 de setembro de 2021.

BOSCH SOLAR ENERGY AG. **Folha de dados Bosch Solar Module e-Si M 60EU30117,** 2011.

CARDOSO, Letycia. EXTRA. **Está mais caro financiar casa no Brasil: com Selic maior, bancos aumentam taxas.** 2021. Disponível em: <<https://extra.globo.com/economia-e-financas/suas-contas/castelar/esta-mais-carro-financiar-casa-no-brasil-com-selic-maior-bancos-aumentam-taxas-rv1-1-25304906.html>> Acesso em 08 de dezembro de 2021.

CAMPOS, Antônio Luiz P.S. *et al.* **Investigação Experimental da Geração de Energia Solar Fotovoltaica.** *Holos*, v. 3, p. 82-90, 2010.

CRESESB, **Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito.** Página Inicial. 2021. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>> Acesso em 30 de setembro de 2021.

DUARTE, C. L. G.; ALMEIDA, S. F.; ALMEIDA, P. L. P. e ROCHA, J. S. **Método do custo anual uniforme equivalente como ferramenta para a substituição de frota.** XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 09 a 11 de outubro de 2007.

EMBRAPA, **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.** 2017. O clima da região de Dourados, MS / FIETZ, C. R. *et al.* 3. Ed. Rev. E atual. – Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2017.

EVO BRASIL. **Evo Brasil – Energia Fotovoltaica**. Página Inicial. 2021. Disponível em: <<https://evobrasilenergia.com.br/dourados/>> Acesso em 30 de agosto de 2021.

FERREIRA, D. H. do C. **Implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica na Universidade Federal do Pampa campus Bagé**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Pampa, 2018.

GITMAN, L. J. **Princípios de administração financeira**. Tradução por Allan Vidigal Hastings. 12 ed. São Paulo: Person Prentice Hall, 2010.

Google. 2017. **Hospital Veterinário**. Google *Maps*. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/place/Hospital+Veterin%C3%A1rio+Santa+Cec%C3%ADlia/@22.2543041,54.8047181,19.5z/data=!4m5!3m4!1s0x9489a9bee9d3f1f7:0x682e1d5abd27383c!8m2!3d-22.2542904!4d-54.8050324>> Acesso em: 10 de setembro de 2021.

LANDEIRA, Juan Lourenço Fandino. **Análise técnico-econômica sobre a viabilidade de implantação de sistemas de geração fotovoltaica distribuída no Brasil**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2013.

LOSSIO, Bruno Rodrigues Martins. **Diagnóstico de um dado sistema fotovoltaico aplicado à região do Lago Sul – DF considerando os aspectos técnicos, econômicos e de políticas públicas**. 2015.

MEINBERG, Daniel. **Payback da energia solar**. Educando seu bolso. 2018. <<https://educandoseubolso.blog.br/2018/04/30/payback-da-energia-solar/>>. Acesso em 29 de agosto de 2021.

MITRATECH. **Energia Solar Fotovoltaica: Como funciona**. Disponível em: <<https://www.mitratech.com.br/como-funciona-energia-solar-fotovoltaica.html>>. Acesso em 30 de agosto de 2021.

NEOSOLAR. **Vem pro Sol energia solar**. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/vem-prosol-energia-solar>>. Acesso em 30 de agosto de 2021.

PERUZZO, Ezequias Silveira. **Como deve ser feito o aterramento em Sistemas de Geração Fotovoltaico**. *Solar Inove*. 2021. Disponível em: <<https://blog.solarinove.com.br/aterramento-em-sistemas-de-geracao-fotovoltaico/>> Acesso em 22 de outubro de 2021.

PINHO, M. A. G. J. T. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL, 2014.

PORTALSOLAR. **Instalar energia solar ou investir na bolsa de valores? Veja qual aplicação rende mais**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-bolsa-de-valores-qual-melhor-investimento>> Acesso em 05 de setembro de 2021.

SHARMA, R.; PATEL, B. Design and simulation of Darrieus (Eggbeater) type vertical axis wind turbine using open source software Q blade. **International Journal for Innovative Research in Science & Technology**, v.1, n.12, 2015.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Conversor eletrônico de potência trifásico para sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica**. 2010.

VILLALVA, Marcelo Grandella; GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia Solar Fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Érica Ltda, 2012.

7. ANEXOS

7.1 COMPONENTES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO *ON-GRID*

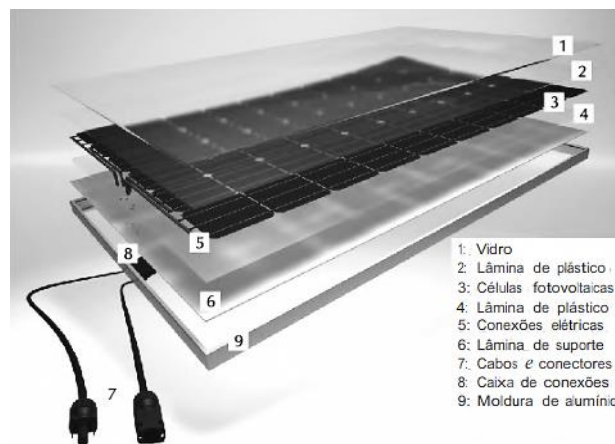
7.1.1 PAINEL SOLAR

Os painéis fotovoltaicos ou módulos solares são os equipamentos responsáveis por converterem a energia do Sol em eletricidade.

As células de silício são interligadas elétrica e mecanicamente, dessa maneira aumentam a potência do módulo. O módulo é recoberto por uma lâmina de vidro e por último recebe uma moldura de alumínio. (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Os detalhes construtivos de boa parte dos módulos comercializados são apresentados na Figura 4.

Figura 4. Componentes de um painel solar.



Fonte: (Bosch Solar Energy AG. 2011).

Na parte traseira o painel recebe uma caixa de conexões elétricas, à qual são conectados os cabos elétricos, normalmente fornecidos junto ao módulo.

Os cabos possuem proteção contra intempéries e conectores padronizados, que permitem a rápida conexão de módulos em série, denominado conector MC4. O conjunto é composto por plugue macho e um fêmea, que visa facilitar e agilizar as instalações (LOSSIO, 2015).

A Figura 5 ilustra como os conectores MC4 são utilizados na instalação do SFV.

Figura 5. Conectores MC4.



Fonte: (Próprio autor, 2021).

7.1.2 INVERSOR

O inversor fotovoltaico é o equipamento responsável por converter a energia elétrica dos painéis fotovoltaicos, originada em corrente contínua, para corrente alternada, em tensão e frequência compatíveis com as da rede da concessionária de energia. Ainda, habilita as proteções exigidas para conectar o sistema fotovoltaico à rede de distribuição. (AYRÃO, 2019).

Na ausência ou falha no fornecimento de energia pela concessionária, o inversor interrompe a conexão com a rede, uma vez que não foi projetado para operar sem a rede elétrica e não deve em nenhuma hipótese continuar conectado à instalação elétrica, para a segurança dos aparelhos ligados à mesma ou de profissionais que manuseiam a instalação elétrica para manutenção. A desconexão proposital chama-se de proteção anti-ilhamento. (VILLALVA, 2010).

A maioria dos inversores comercializados possuem capacidade de comunicação com os usuários, de modo que o usuário possa monitorá-lo e obter relatórios sobre as condições de funcionamento e operação, fornecer atualizações de firmware e controlar a ligação à rede.

O modelo incorporado no sistema é mostrado na Figura 6.

Figura 6. Inversor de frequência.



Fonte: (Próprio autor, 2021).

Maiores detalhes do inversor de frequência utilizado, estão disponíveis no Anexo 7.3.

7.1.3 CAIXA DE PROTEÇÃO

A caixa de proteção, ou *String box*, abriga todos os elementos de proteção do sistema e dos operadores exigidos pela concessionária de energia elétrica, tais como fusíveis, chave seccionadora e dispositivos de proteção contra surto (DPS).

De acordo com FERREIRA (2018), a caixa de proteção CA, referente à corrente alternada, deve ser ligada ao inversor e ao quadro de carga da rede elétrica, onde protege a instalação contra descargas atmosféricas vindas da rede elétrica. A caixa de proteção para corrente contínua (CC), é posicionada entre os módulos e o inversor de frequência, realizando a conexão entre os mesmos, e ainda fornece a proteção da instalação contra descargas elétricas.

7.1.4 ATERRAMENTO

Para a segurança dos usuários e o bom funcionamento da instalação, é necessário que o sistema fotovoltaico possua um bom aterramento. Em sua ausência, o mesmo deverá ser

providenciado. E em casos do sistema de aterramento ser presente mas não atender às normas vigentes, ele deverá ser readequado, por se tratar de uma reforma na instalação elétrica.

Segundo AYRÃO (2019), para instalações elétricas em baixa tensão (CC ou CA), todo o aterramento do sistema fotovoltaico deverá ser ligado na malha de aterramento existente, por meio da BEP (barramento de equipotencialização principal), seguindo as exigências da NBR 5410.

A equipotencialização fornece um caminho de baixa impedância para permitir a rápida dispersão de sobretensões, além de evitar danos aos equipamentos devido a falha no isolamento ou por excesso de tensão. Deste modo, todas os circuitos e massas da instalação devem estar ligados à condutores de proteção, em toda sua extensão. (PERUZZO, 2021).

7.1.5 SINALIZAÇÃO

A sinalização de todos os locais que possam haver intervenção humana ou risco de descarga elétrica, é necessária para fins de segurança. A indicação deve ser realizada com uma placa de 25 x 18 cm, confeccionada em material resistente e fixada à mesma forma, assim como determina a norma da concessionária.

A Figura 7 representa o modelo utilizado na instalação.

Figura 7. Sinalização.



Fonte: (Próprio autor, 2021).

7.2 CARACTERÍSTICAS DA INSTALAÇÃO DO SFV.

A instalação do SFV foi realizada com 69 módulos de 530W dispostos em sete *strings* sobre o telhado do hospital veterinário, resultando em 36,57Wp de potência instalada.

O módulo fotovoltaico selecionado pelo dimensionamento foi o DHM-72X10-530W, da DAHSolar.

Figura 8.. Fixação dos módulos do SFV.



Fonte: (Próprio autor, 2021).

A operação foi realizada em dois dias e contou com dois instaladores devidamente capacitados e habilitados, e instruídos a seguirem todos os parâmetros de segurança, tal como exige as normas NBR-5410 e 14039 da ABNT.

A Figura 9 ilustra como as *strings* ficaram após a instalação dos módulos solares.

Figura 9. Disposição dos módulos do SFV.



Fonte: (Próprio autor, 2021).

A cobertura do hospital veterinário é composta de telhas de aço galvanizada e dez exaustores eólicos, não há sombreamento no local. A inclinação de 12° da cobertura possibilita uma limpeza adequada pela chuva e menor probabilidade de acúmulo de sujeira. (EVO BRASIL ENERGIA, 2021).

Devido a presença dos exaustores eólicos, os módulos foram divididos da seguinte forma: uma *string* com 15 módulos (7,95 kWp), duas *strings* com 15 módulos (7,95 kWp), uma *string* com 15 módulos (7,95 kWp), duas *strings* com 15 módulos (7,95 kWp) e finalmente, uma *string* com 9 módulos (4,77 kWp), totalizando sete *strings*.

Nessas condições, o inversor selecionado foi o modelo SUN-35K-G, da DEYE, que possui máxima potência de entrada de 45,5 kW (vide anexo 7.3) e três MPPT's para suportar as sete *strings* do projeto.

Os surtos de tensão tendem a ser mais prejudiciais em semicondutores e estes estão presentes em todas as partes do sistema fotovoltaico. O sistema não protegido por DPS não chega aos seus 25 anos de vida. O silício presente nos painéis, começa a perder eficiência ao ser exposto a esses surtos elétricos, o mesmo acontece com os inversores, que podem queimar mais rapidamente. (PERUZZO, 2021).

Uma das formas de evitar este cenário, é implementando o aterramento, que no caso sob estudo segue todos os parâmetros da NBR 5410.

O arranjo fotovoltaico, os componentes elétricos e as massas (carcaças) do SFV, foram devidamente aterrados por meio do barramento de equipotencialização. Utilizou-se um cabo com seção de 35mm², de cobre e com proteção EPR (não propaga fogo e possui ótima condução), como é destacado na Figura 10.

Figura 10. Barramento de equipotencialização.

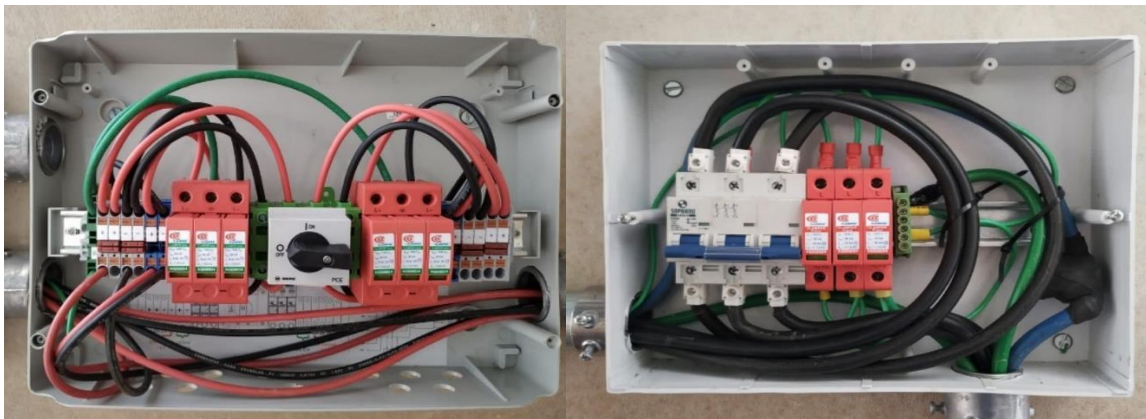


Fonte: (Próprio autor, 2021).

O SFV do hospital veterinário ainda conta com duas caixas de proteção, uma para o circuito CC, instalada à montante do inversor e composta de DPS e chave seccionadoras (*on-off*), além, é claro, os circuitos de entrada CC. E a outra para o circuito CA, instalada à jusante do inversor, ou seja, após os módulos, também conta com DPS, e ainda um disjuntor termomagnético tripolar de 125A, que atua na proteção contra sobrecorrente e corrente de curto-circuito.

A Figura 11 demonstra as caixa de proteção do circuito CC e CA do SFV em estudo.

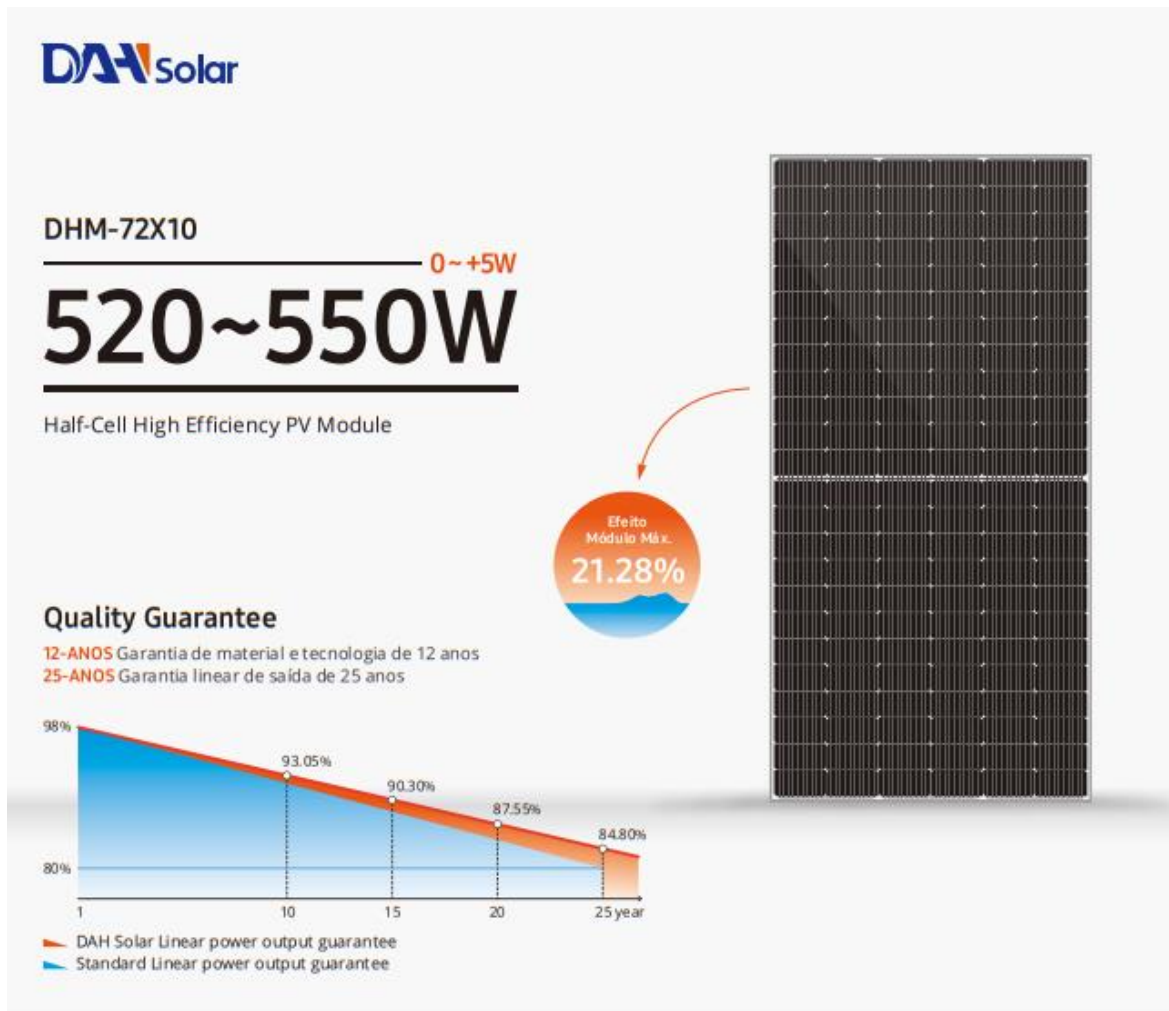
Figura 11. Caixa de proteção circuito CC (à esquerda) e circuito CA (à direita).



Fonte: (Próprio autor, 2021).

Todos os cabos utilizados na instalação são apropriados para seus fins, e estão de acordo com as especificações da concessionária.

7.3 Datasheet módulo DHM-72X10-530W, da DAHSolar.



- 

Mais Geração De Energia
 Maior tamanho da área de captação de luz e maior conversão de eficiência do módulo
- 

Tecnologia 10 Busbar
 Maior densidade de coleta de energia melhora a geração de energia
- 

Performance de Geração Estável
 Garantido 0~+5W de tolerância positiva e degradação de geração mais lenta: primeiro ano ≤2% , 0.55% ano 2-25
- 

Maiores ganhos de potência e menores perdas
 Excelente desempenho de baixa irradância e baixa perda por sombra
- 

Processo Otimizado e Atualizado
 Menor risco de hot-spot e maior capacidade anti-PID
- 

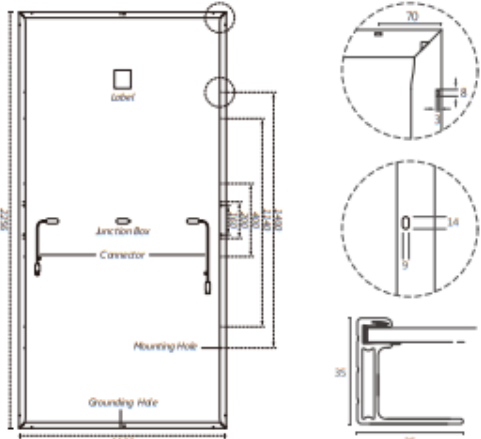
Forte Adaptabilidade Ambiental e Grande Durabilidade
 Certificada por testes de resistência às intempéries, areia, névoa salina, amônia, etc. Carga mecânica aprimorada: carga do vento (2400 Pascal) e carga da neve (5400 Pascal)

Abrange Certificados de Produtos e Sistemas



IEC 61215 / IEC 61730 / CE / INMETRO
 OHSAS 18001-
 2007/International standards for occupational health & safety
 ISO 14001-
 2015/Standards for environmental management system
 ISO 9001-
 2015/Quality management system

DHM-72X10 520~550W

Projeto	Especificação Mecânica
	<p>Cells Type Mono 182×91mm</p> <p>Peso 27.2kg</p> <p>Cabo de saída (incluindo conector) Número de células Vidro Caixa de Junção Conector</p> <p>Dimensão (L×W×T) 2256×1133×35mm</p> <p>Embalagem 31pcs/pallet, 620pcs/40HQ</p> <p>4.0mm², Vertical: 300mm(+)/400mm(-) Horizontal: 1400mm(+)/1400mm(-) 144 (6×24) 3.2mm alta transmissão, Revestimento antirefletivo IP68, 3 Diodos bypass MC4 Compatível</p>
	Parâmetros operacionais
	<p>Tensão máxima do sistema Temperatura de operação Classificação máxima de fusíveis em série Carga de neve, frente Carga de vento, parte traseira Temperatura no minal da célula operacional Nível de aplicação</p> <p>1000V/1500VDC -40 ~ +85°C 25A 5400Pa 2400Pa 45°C±2°C Class A</p>

STC-CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

Tipo de módulo	DHM-72X10					
Potência máxima (Pmax)	525W	530W	535W	540W	545W	550W
Tensão de circuito aberto (Voc)	49.2V	49.4V	49.6V	49.8V	50.0V	50.2V
Tensão de potência máxima (Vmp)	41.4V	41.6V	41.8V	42.0V	42.2V	42.4V
Corrente de curto-circuito (Isc)	13.48A	13.54A	13.60A	13.66A	13.72A	13.78A
Corrente de potência máxima (Imp)	12.68A	12.74A	12.80A	12.86A	12.91A	12.97A
Eficiência do módulo (%)	20.05%	20.70%	20.90%	21.10%	21.30%	21.50%
Coefficiente de temperatura de Isc				0.05%/°C		
Coefficiente de temperatura de Voc				-0.31%/°C		
Coefficiente de potência de Pmax				-0.35%/°C		

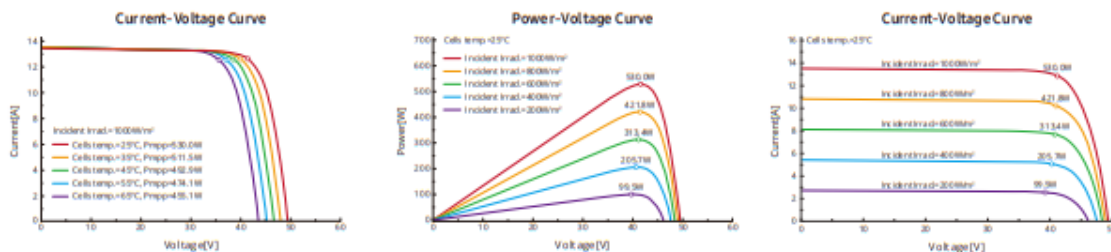
Ambiente de teste padrão: Irradiância 1000W/m², temperatura da célula 25°C, Espectro AM1.5

NOCT-CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

Potência máxima (Pmax)	391W	394W	398W	402W	405W	409W
Tensão de circuito aberto (Voc)	46.1V	46.3V	46.5V	46.7V	46.9V	47.1V
Tensão de potência máxima (Vmp)	38.8V	39.0V	39.2V	39.4V	39.6V	39.8V
Corrente de curto-circuito (Isc)	10.89A	10.94A	10.99A	11.04A	11.09A	11.13A
Corrente de potência máxima (Imp)	10.06A	10.11A	10.15A	10.20A	10.24A	10.29A

Ambiente de teste padrão: Irradiance 800W/m², temperatura ambiente 20°C, Spectrum AM1.5, velocidade do vento 1m/s

I-V Curve (DHM-72X10-530W)



7.4 Datasheet inversor trifásico SUN-35K-G, da DEYE.

Inversor String Trifásico

SUN- 30 / 33 / 35 / 40 / 50 K-G



4 rastreadores MPPT, máx. eficiência de até 98,3%



Função grid zero, aplicativo VSG



Monitoramento Inteligente de Strings (opcional)



Ampla faixa de tensão de saída



DPS Interno



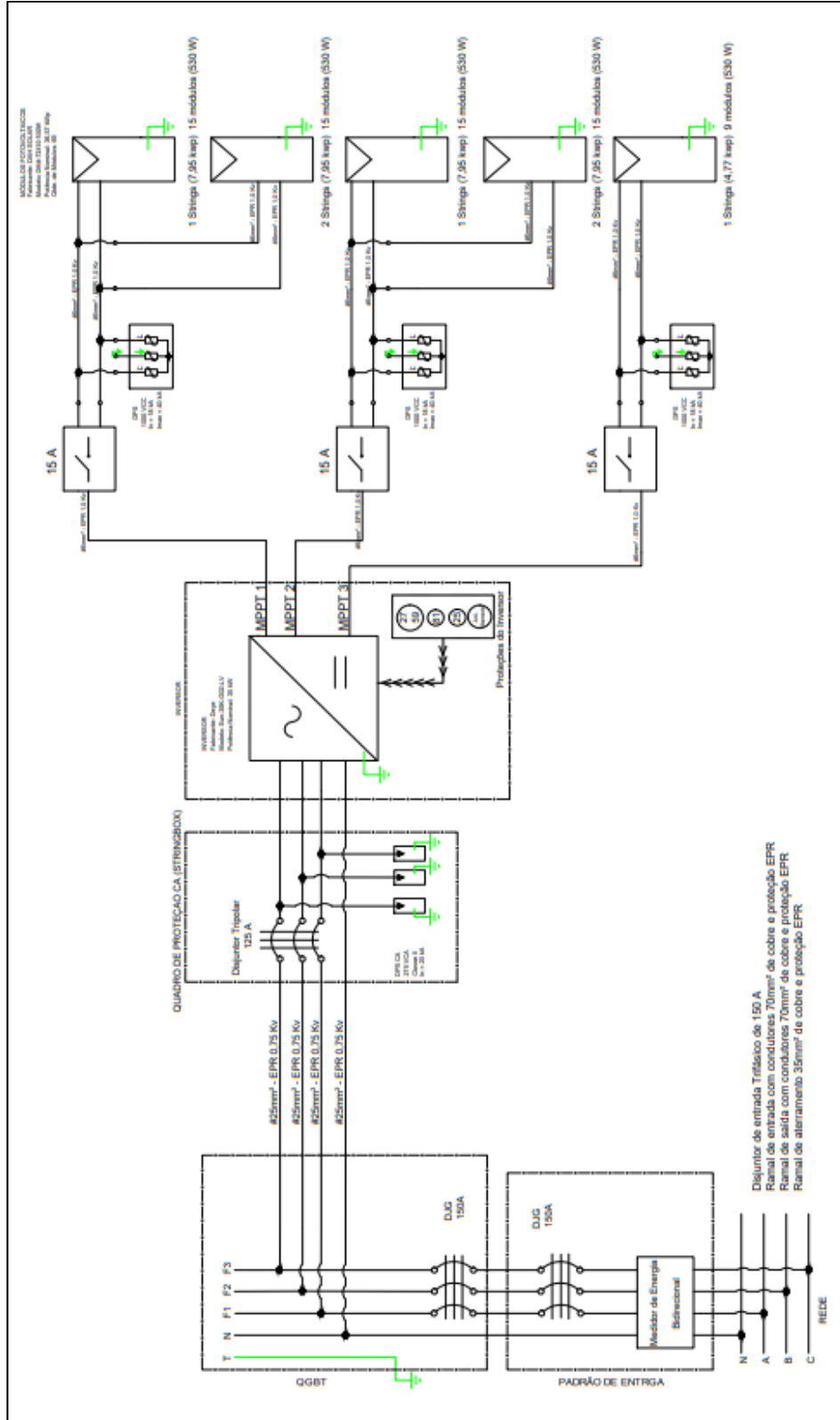
DPS CC/DC Tipo II

Especificações Técnicas

SUN- 30 / 33 / 35 / 40 / 50 K-G

Modelo	SUN-30K-G	SUN-33K-G	SUN-35K-G	SUN-40K-G	SUN-50K-G
Lado de Entrada					
Max. Potência de Entrada CC (kW)	36	36	45.5	52	65
Máx. Tensão de entrada CC em VOC (V)			1000		
Tensão de Partida (V)			250		
Faixa de Operação do MPPT (V)			200-850		
Max. Corrente de Entrada CC (A)	33+33	33+33	33+33+33	33+33+33	33+33+33+33
Número de MPPT / Strings por MPPT	2 / 3	2 / 3	3 / 3	3 / 3	4 / 3
Lado de Saída					
Potência de Saída Nominal (kW)	30	33	35	40	50
Máx. Potência de Saída (kW)	33	36	38.5	44	55
Tensão Nominal da Rede CA (V)			380 / 400		
Faixa de Tensão da Rede CA (V)			277-460		
Frequência Nominal da Rede (Hz)			50 / 60 (Opcional)		
Fases			Trifásico		
Corrente Nominal de Saída da rede CA (A)	43.5	48	50.7	58	72.4
Max. Corrente de Saída CA (A)	47.85	52.8	55.8	63.8	79.64
Fator de Potência de Saída			0.8 adiantado a 0.8 atrasado		
Distorção Harmônica Total			<3%		
Injeção de Corrente CC (mA)			<0.5%		
Faixa de Frequência da Rede			47-52 or 57-62 (Opcional)		
Eficiência					
Eficiência Máxima			98.7%		
Eficiência Euro			98.3%		
Eficiência do MPPT			>99%		
Proteção					
Proteção Contra Polaridade Reversa CC			Sim		
Proteção Contra Curto-circuito CA			Sim		
Proteção de Sobrecorrente de Saída CA			Sim		
Proteção de Sobrecorrente de Saída CA			Sim		
Proteção de Resistência de Isolamento			Sim		
Monitoramento de Falha de Aterramento			Sim		
Proteção Contra Surtos			Sim		
Anti Ihamento			Sim		
Proteção de Temperatura			Sim		
Chave Seccionadora CC Integrada			Opcional		
Dados Gerais					
Tamanho (mm)			700Wx575Hx297D		
Peso (kg)			54		
Topologia			Sem Transformador		
Consumo Interno			<1W (Noite)		
Temperatura de Operação			-25-60°C		
Grau de Proteção			IP65		
Emissão de Ruído (Típica)			<30 dB		
Refrigeração			Arrefecimento Inteligente		
Máx. Altitude de Operação s/ Red. de Potência			2000m		
Vida Útil Projetada			>20 anos		
Padrão de Conexão à Rede			EN50549, IEC61727		
Umidade do Ambiente de Operação			0-100%		
Padrões de Segurança			IEC62 109-1/-2, AS3100, EN61000-6-1		
Características					
Conexão CC			MC-4		
Conexão CA			Plug Padrão IP65		
Display			LCD 240 x 160		
Interface			RS485 / RS232		

7.5 Diagrama trifilar da instalação, desenvolvido pela EVO Brasil.



Fonte: (EVO BRASIL ENERGIA, 2021)

7.6 Dados do fluxo de caixa do SFV, desenvolvido pelo próprio autor.

FLUXO DE CAIXA SFV	
CAPITAL INICIAL	R\$ 120.940,92
TAXA FINANCIAMENTO	10,68%
PERÍODO	25 ANOS
FC ANUAL	R\$ 26.006,40

A	FC atualizado	VPL	A	FC atualizado	VPL
0	-R\$ 120.940,92	-R\$ 120.940,92	16	R\$ 5.113,42	R\$ 74.316,82
1	R\$ 23.492,32	-R\$ 97.448,60	17	R\$ 4.619,17	R\$ 78.935,99
2	R\$ 21.221,61	-R\$ 76.226,99	18	R\$ 4.172,69	R\$ 83.108,68
3	R\$ 19.170,38	-R\$ 57.056,61	19	R\$ 3.769,37	R\$ 86.878,05
4	R\$ 17.317,42	-R\$ 39.739,19	20	R\$ 3.405,03	R\$ 90.283,08
5	R\$ 15.643,56	-R\$ 24.095,64	21	R\$ 3.075,91	R\$ 93.358,99
6	R\$ 14.131,49	-R\$ 9.964,15	22	R\$ 2.778,60	R\$ 96.137,59
7	R\$ 12.765,57	R\$ 2.801,42	23	R\$ 2.510,03	R\$ 98.647,62
8	R\$ 11.531,68	R\$ 14.333,10	24	R\$ 2.267,41	R\$ 100.915,03
9	R\$ 10.417,06	R\$ 24.750,15	25	R\$ 2.048,25	R\$ 102.963,28
10	R\$ 9.410,17	R\$ 34.160,32			
11	R\$ 8.500,60	R\$ 42.660,92			
12	R\$ 7.678,95	R\$ 50.339,88			
13	R\$ 6.936,73	R\$ 57.276,60			
14	R\$ 6.266,24	R\$ 63.542,84			
15	R\$ 5.660,56	R\$ 69.203,40			

7.7 Rendimento capital inicial aplicado na poupança, desenvolvido pelo próprio autor.

A	VALOR APLICADO	RENDE	SALDO	A	VALOR APLICADO	RENDE	SALDO
0	R\$ 120.940,92	-	R\$ 120.940,92	16	R\$ 217.807,76	R\$ 8.712,31	R\$ 226.520,08
1	R\$ 120.940,92	R\$ 4.837,64	R\$ 125.778,56	17	R\$ 226.520,08	R\$ 9.060,80	R\$ 235.580,88
2	R\$ 125.778,56	R\$ 5.031,14	R\$ 130.809,70	18	R\$ 235.580,88	R\$ 9.423,24	R\$ 245.004,11
3	R\$ 130.809,70	R\$ 5.232,39	R\$ 136.042,09	19	R\$ 245.004,11	R\$ 9.800,16	R\$ 254.804,28
4	R\$ 136.042,09	R\$ 5.441,68	R\$ 141.483,77	20	R\$ 254.804,28	R\$ 10.192,17	R\$ 264.996,45
5	R\$ 141.483,77	R\$ 5.659,35	R\$ 147.143,12	21	R\$ 264.996,45	R\$ 10.599,86	R\$ 275.596,31
6	R\$ 147.143,12	R\$ 5.885,72	R\$ 153.028,85	22	R\$ 275.596,31	R\$ 11.023,85	R\$ 286.620,16
7	R\$ 153.028,85	R\$ 6.121,15	R\$ 159.150,00	23	R\$ 286.620,16	R\$ 11.464,81	R\$ 298.084,97
8	R\$ 159.150,00	R\$ 6.366,00	R\$ 165.516,00	24	R\$ 298.084,97	R\$ 11.923,40	R\$ 310.008,36
9	R\$ 165.516,00	R\$ 6.620,64	R\$ 172.136,64	25	R\$ 310.008,36	R\$ 12.400,33	R\$ 322.408,70
10	R\$ 172.136,64	R\$ 6.885,47	R\$ 179.022,11				
11	R\$ 179.022,11	R\$ 7.160,88	R\$ 186.182,99				
12	R\$ 186.182,99	R\$ 7.447,32	R\$ 193.630,31				
13	R\$ 193.630,31	R\$ 7.745,21	R\$ 201.375,52				
14	R\$ 201.375,52	R\$ 8.055,02	R\$ 209.430,54				
15	R\$ 209.430,54	R\$ 8.377,22	R\$ 217.807,76				

7.8 Dados de irradiação solar (CRESESB) e insolação (EMBRAPA) para Dourados – MS.

Estação: Dourados
Município: Dourados, MS - BRASIL
Latitude: 22,301° S
Longitude: 54,849° O
Distância do ponto de ref. (22,25429° S; 54,805052° O): 6,9 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	5,89	5,72	5,26	4,48	3,67	3,34	3,47	4,44	4,75	5,32	5,89	6,34	4,88	3,01
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	22° N	5,34	5,46	5,41	5,04	4,48	4,25	4,34	5,22	5,05	5,20	5,41	5,65	5,07	1,39
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	19° N	5,44	5,53	5,43	5,00	4,40	4,15	4,25	5,15	5,04	5,25	5,50	5,77	5,07	1,62
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	38° N	4,64	4,93	5,16	5,11	4,75	4,62	4,66	5,41	4,92	4,78	4,74	4,83	4,88	,79

Fonte: (CRESESB, 2021).

Tabela 3. Insolação (n), fotoperíodo (N) e razão de insolação (n/N) na região de Dourados, MS⁽¹⁾

Mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Maio	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov	Dez.	Ano
n (h)	7,0	6,8	7,0	7,2	6,3	6,2	7,3	6,4	5,8	6,8	7,5	7,4	6,8

Fonte: (EMBRAPA, 2017).