

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Rafael Augusto Fernandez Bittar

Dimensionamento e análise de viabilidade econômica de um empreendimento de microgeração de energia fotovoltaica localizado em Minas Gerais: um estudo de caso

Florianópolis - SC
2023

Rafael Augusto Fernandez Bittar

Dimensionamento e análise de viabilidade econômica de um empreendimento de microgeração de energia fotovoltaica localizado em Minas Gerais: um estudo de caso

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.
Orientador: Prof. Hans Helmut Zürn, Dr.

Florianópolis - SC
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Bittar, Rafael Augusto Fernandez

Dimensionamento e análise de viabilidade econômica de um empreendimento de microgeração de energia fotovoltaica localizado em Minas Gerais : um estudo de caso / Rafael Augusto Fernandez Bittar ; orientador, Hans Helmut Zürn, 2023.

62 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, , Graduação em Engenharia Elétrica, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia Elétrica. 2. Energia fotovoltaica. 3. dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. 4. análise de viabilidade econômica. I. Zürn, Hans Helmut . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

Rafael Augusto Fernandez Bittar

Dimensionamento e análise de viabilidade econômica de um empreendimento de microgeração de energia fotovoltaica localizado em Minas Gerais: um estudo de caso

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Elétrica” e aceito, em sua forma final, pelo Curso de Graduação em Engenharia Elétrica.

Florianópolis, 10 de Fevereiro de 2023.



Documento assinado digitalmente

Miguel Moreto

Data: 21/02/2023 09:12:25-0300

CPF: ***.850.100-**

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Miguel Moreto, Dr.
Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente

HANS HELMUT ZURN

Data: 18/02/2023 15:14:16-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Hans Helmut Zürn, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente

Roberto Francisco Coelho

Data: 18/02/2023 15:17:11-0300

CPF: ***.034.249-**

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Roberto Francisco Coelho, Ph.D.
Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente

LUCAS MARCELO DE DEUS

Data: 20/02/2023 14:25:36-0300

Verifique em <https://verificador.iti.br>

Eng. Eletric. Lucas Marcelo de Deus, Bel.
Fótum Engenharia

Dedico este trabalho à minha família, por todo o apoio ao longo de minha vida.

AGRADECIMENTOS

A entrega deste trabalho marca o fim de um ciclo que começou em 2015 e pelo qual não passei sozinho. Sem minha rede de apoio não teria sido possível realizar o que realizei e é necessário destacar aqui todos que de alguma forma fizeram parte dessa conquista, que me transformaram em um melhor pessoa e profissional e para as quais agradeço e dedico esse trabalho.

Gostaria de agradecer primeiramente a meus pais e minha irmã, pelo suporte infinito que me foi dado não só na universidade mas em toda minha vida. É um imenso privilégio ter uma família tão unida e amorosa.

Aos meus avós Augusto e Zoraide, e minha tia Raquel, por investirem e acreditarem em mim, não importasse a situação e por ajudarem a viabilizar o sonho que foi me graduar em Florianópolis.

À Laísa, por todo o incentivo em momentos importantíssimos no final do curso, pela ajuda no TCC e por ser meu par nos altos e baixos.

Aos amigos e colegas da faculdade, por terem me dado a mão sempre que necessário e por mostrarem que sempre é possível atingir nossos objetivos. Menção especial ao Pedro, que me abriu as portas para a fotovoltaica e que me salvou a vida mais de uma vez.

Ao professor Hans, pela orientação e apoio.

Aos amigos do “TS dos Bonitinho” por todos os anos de amizade e por todos os importantes momentos que passamos juntos, seja online ou presencialmente.

À todos com quem morei ao longo da graduação, pela convivência carinhosa que tornou os vários anos do curso uma experiência única.

E à UFSC, por me proporcionar um ensino de excelência e pelo ambiente que me formou como pessoa e profissional.

“Quão sortudos somos por termos esta vasta fonte de energia limpa caindo dos céus como maná para todos nós”

Neil deGrasse Tyson

RESUMO

Desde sua criação no século XX, a energia solar fotovoltaica tornou-se cada vez mais conhecida, e tem sido adotada como um investimento para gerar energia elétrica barata. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é de realizar um estudo de caso do dimensionamento e análise de viabilidade econômica de um empreendimento de energia fotovoltaica para uma indústria de pequeno porte, na cidade de Uberaba, Minas Gerais. Inicialmente fez-se a revisão bibliográfica, a partir da qual foram levantados os fundamentos da energia fotovoltaica, de seus aspectos de engenharia e da análise da viabilidade econômica. Após, foi estabelecida a metodologia do estudo de caso, da qual fazem parte o dimensionamento do sistema e a análise de viabilidade econômica. Finalmente, apresentaram-se os resultados obtidos, que confirmaram a viabilidade do sistema, com geração suficiente para suprir o consumo de energia e retorno financeiro positivo com um valor de energia substancialmente mais barato que o da concessionária.

Palavras-chave: Energia fotovoltaica; dimensionamento de sistemas fotovoltaicos; análise de viabilidade econômica.

ABSTRACT

Ever since its creation in the twentieth century, photovoltaic energy became widely known and has been used as an investment to generate inexpensive energy. In this context, this project's goal is to research a case study in sizing and analyzing the economic feasibility of a photovoltaic plant to serve a small sized industry in the city of Uberaba, Minas Gerais. The literature review was done first, from which the fundamentals of photovoltaic energy, its engineering and economic analysis were gathered. Furthermore, the methodology for the case study was established, which is composed by the sizing and economic analyses. Finally, the results positively confirmed the system's feasibility, as it generates all the energy consumed by the production site and brings positive financial feedback, providing much cheaper energy compared to the power distribution company.

Keywords: Photovoltaic energy; photovoltaic systems sizing; economic viability analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama de blocos de sistemas fotovoltaicos: Microgeração conectada à rede.....	18
Figura 2 - Órbita terrestre e variação do hemisfério mais iluminado.....	23
Figura 3 - Exemplo de perfis de radiação solar diária com valores equivalentes de HSP.....	25
Figura 4 - Imagem de satélite do imóvel da Ruralvit Biotech.....	32
Figura 5 - Irradiação solar diária média no plano horizontal para o município de Uberaba-MG.....	33
Figura 6 - Modelo 3D extrudado.....	36
Figura 7 - Gráfico da geração e consumo em 2023.....	38
Figura 8: Gráficos dos créditos de energia acumulados por mês, por ano.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo da UC 3014115300 em 2020.....	32
Tabela 2 - Características econômicas e de potência dos módulos disponíveis na distribuidora	34
Tabela 3 - Características elétricas do módulo Longi.....	34
Tabela 4 - Dados do inversor Huawei SUN2000-36KTL-M3.....	35
Tabela 5 - Resultados elétricos dos arranjos fotovoltaicos dimensionados.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica

CA Corrente alternada

CAPEX *Capital expenditure* ou despesas de capital

CC Corrente contínua

COSIP Contribuição para o Custeio do Serviço de Iluminação Pública

CRESESB Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito

EPE Empresa de Pesquisa Energética

FDI Fator de dimensionamento do inversor

FV Fotovoltaica

GD Geração distribuída

HSP Horas de sol pleno

ICMS Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias

I_{mpp} Corrente de ponto de máxima potência

INMET

INPE

I_{sc} Corrente de curto-circuito

kWh/kWp Quilowatt hora por quilowatt pico

kWh/m².dia Quilowatt hora por metro quadrado por dia

kWp Quilowatt pico

LCOE *Levelized cost of electricity* ou custo nivelado de eletricidade

MPPT *Maximum power point tracker* ou rastreador de ponto de máxima potência

OPEX Operational expenditure

p-Si Silício policristalino

P_{max} Potência máxima

P_t *Payback time* ou tempo de payback

PR Performance ratio

REN Resolução Normativa

SFCR Sistema fotovoltaico conectado à rede

SFI Sistema fotovoltaico isolado

SFV Sistema fotovoltaico

TE Tarifa de energia

TIR Taxa interna de retorno

TMA Taxa mínima de atratividade

TUSD Tarifa de Uso dos Sistemas Elétricos de Distribuição

TUST Tarifa de Uso dos Sistemas Elétricos de Transmissão

UC Unidade consumidora

V_{mpp} Tensão de ponto de máxima potência

V_{oc} Tensão de circuito aberto

VPL Valor presente líquido

W/m² Watt por metro quadrado

Wh/m² Watt hora por metro quadrado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	MOTIVAÇÃO.....	15
1.2	OBJETIVOS.....	15
1.2.1	Objetivo geral.....	15
1.2.2	Objetivos específicos.....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	A ENERGIA FOTOVOLTAICA.....	17
2.2	COMPONENTES.....	18
2.2.1	Módulos fotovoltaicos.....	18
2.2.2	Inversor.....	19
2.2.3	Bloco de armazenamento.....	21
2.2.4	Proteções elétricas.....	21
2.2.5	Cabeamento.....	22
2.2.6	Estruturas de fixação.....	22
2.2.7	Monitoramento.....	22
2.3	RECURSO SOLAR.....	23
2.4	INDICADORES DE DESEMPENHO.....	24
2.5	DIMENSIONAMENTO.....	24
2.5.1	Potência do gerador.....	25
2.5.2	Inversor.....	26
2.5.3	Cabeamento.....	26
2.5.4	Simulação.....	27
2.6	LEGISLAÇÃO.....	27
2.7	INDICADORES DE VIABILIDADE ECONÔMICA.....	28
2.7.1.	VPL.....	28
2.7.2	TIR.....	29
2.7.3	LCOE.....	30
2.7.4	Tempo de Payback.....	31
3.	METODOLOGIA	32
3.1	SELEÇÃO DO CASO.....	32
3.2	Dimensionamento.....	33
3.2.1	Premissas.....	33
3.2.2	Potência do gerador.....	33
3.2.3	Inversor.....	35
3.2.4	Layout.....	35
3.2.5	Simulação.....	36
3.3	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA.....	37
4	RESULTADOS	38

4.1	DIMENSIONAMENTO.....	38
4.2	VIABILIDADE ECONÔMICA.....	40
4.2.1	VPL.....	40
4.2.2	TIR.....	40
4.2.3	LCOE.....	40
4.2.4	Payback.....	40
5	CONCLUSÃO.....	41
	REFERÊNCIAS.....	42
	APÊNDICE A - PLANILHA DA GERAÇÃO.....	46
	APÊNDICE B - PLANILHA DOS CRÉDITOS DE ENERGIA NA CONCESSIONÁRIA.....	47
	APÊNDICE C - PLANILHA DA FATURA EM kWh.....	48
	APÊNDICE D - PLANILHA DA FATURA EM REAIS COM SFV.....	49
	APÊNDICE E - PLANILHA DA FATURA EM REAIS SEM SFV.....	51
	APÊNDICE F - PLANILHA DA ECONOMIA EM REAIS NA FATURA.....	53
	APÊNDICE G - PLANILHA DOS CUSTOS COM O&M.....	55
	APÊNDICE H - PLANILHA DA ECONOMIA REAL.....	57
	ANEXO A - FOLHA DE DADOS DO MÓDULO FOTOVOLTAICO LONGI LR5-72HPH-550M.....	59
	ANEXO B - FOLHA DE DADOS DO INVERSOR HUAWEI SUN2000-36KTL-M3.....	61

1 INTRODUÇÃO

Criada no século 20, a energia solar fotovoltaica tornou-se uma importante fonte de energia, e sua participação na matriz energética mundial aumenta ano após ano, indo de 1% em 2019 segundo *British Petroleum* (2020) para 3% em 2020 segundo IEA (2022). No Brasil sua participação foi de 0,2% em 2017 (EPE, 2018) para 2,5% em 2021 (EPE, 2022), se consolidando na matriz brasileira com perspectivas de crescimento de 42,4% em 2023 segundo a ABSOLAR (2022).

Além do atrativo ecológico, a economia financeira trazida pela energia fotovoltaica é um importantíssimo fator que leva pessoas físicas e jurídicas a buscarem essa tecnologia. Devido a essa economia, a instalação de sistemas fotovoltaicos pode ser encarada do ponto de vista de investimentos, e portanto analisada como tal.

1.1 MOTIVAÇÃO

Cerca de 85% da energia gerada em GD (geração distribuída) se dá em microgeração, e com isso, é perceptível o potencial que a energia fotovoltaica possui como investimento. Assim, o presente trabalho buscou realizar um estudo que corroborasse para o avanço e popularização desta forma de energia ao elucidar seus aspectos energéticos e econômicos, demonstrando em especial sua viabilidade e vantagens.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é realizar um estudo de caso do dimensionamento e análise energética e de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico a ser instalado em telhado.

1.2.2 Objetivos específicos

Realizar o dimensionamento e analisar os resultados de um sistema fotovoltaico do ponto de vista energético através de sua geração e indicadores de desempenho, e do ponto de vista financeiro com o estudo de viabilidade econômica, também através de indicadores.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção, será realizada a revisão bibliográfica dos temas mais relevantes para o desenvolvimento do trabalho, incluindo o histórico da energia fotovoltaica, os tópicos necessários para o dimensionamento do sistema, os indicadores de desempenho e de viabilidade econômica, e regulamentação do setor.

2.1 A ENERGIA FOTOVOLTAICA

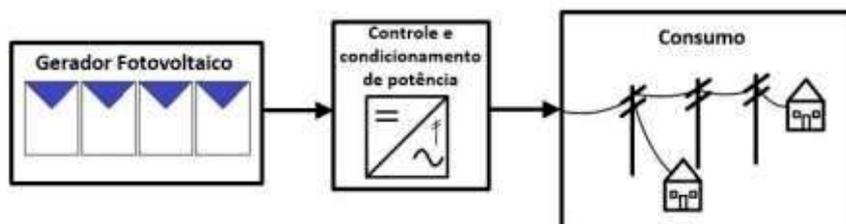
Como definido por Pinho e Galdino (2014, p. 50), a energia solar fotovoltaica é “a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (Efeito Fotovoltaico), sendo a célula fotovoltaica, um dispositivo fabricado com material semicondutor, a unidade fundamental desse processo de conversão”. No efeito fotovoltaico, há o estabelecimento de uma diferença de potencial quando o material é irradiado com luz.

Os primeiros dispositivos que podem ser denominados de células solares ou células fotovoltaicas foram fabricados em selênio e desenvolvidos por C. E. Frits em 1883 (PINHO; GALDINO, 2014, p. 103) mas foi somente após os estudos sobre o efeito fotoelétrico, teoria de bandas e o desenvolvimento das técnicas de dopagem de materiais, que surgiram as primeiras células fotovoltaicas que se pode reconhecer atualmente. Os primeiros módulos de silício de uso externo foram fabricados na *Bell Laboratories* em 1955 e, a partir da década de 1970 começou a produção industrial de equipamentos para geração fotovoltaica, com forte crescimento incentivado pela busca por fontes de energia alternativas em consequência da Crise do Petróleo (GREEN, 2005).

“Um sistema fotovoltaico é constituído por um bloco gerador, um bloco de condicionamento de potência e, opcionalmente, um bloco de armazenamento” (PINHO; GALDINO, 2014, p. 144), como pode ser visto na Figura 1. Em SFCRs residenciais e comerciais, o bloco gerador consiste dos módulos fotovoltaicos, do cabeamento elétrico e das estruturas de fixação; o bloco de condicionamento de potência dos inversores e de outros dispositivos de proteção, supervisão e controle (PINHO; GALDINO, 2014); e o bloco de armazenamento de baterias. Já para os SFIs, além dos equipamentos dos SFCRs, pode-se incluir no bloco de

condicionamento de potência conversores CC-CC, MPPT¹s (independentes de inversor), controladores de carga para baterias e outros acumuladores de energia.

Figura 1 - Diagrama de blocos de sistemas fotovoltaicos: Microgeração conectada à rede.



Fonte: Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (2014)

2.2 COMPONENTES

Nesta seção, são explicitados os equipamentos básicos que constituem um sistema fotovoltaico. Como este trabalho foca em sistemas conectados à rede, em especial os residenciais, equipamentos pertencentes a SFIs ou SFCRs maiores (minigeração) não serão detalhados.

O conjunto de equipamentos necessários para a instalação de um sistema fotovoltaico encontrado no mercado é chamado “kit fotovoltaico”, e é composto comumente pelos módulos fotovoltaicos, pelo inversor, proteções, cabeamento e estruturas de fixação.

2.2.1 Módulos fotovoltaicos

O módulo fotovoltaico é o dispositivo responsável por absorver a energia da luz solar e convertê-la em tensão elétrica e é composto por células fotovoltaicas que são unidas e encapsuladas.

As principais tecnologias de células fotovoltaicas desenvolvidas são silício monocristalino (m-Si), silício policristalino (p-Si), silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre e índio (CIS) ou disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe) (PINHO; GALDINO, 2014). A associação das células fotovoltaicas em série ou paralelo será responsável pelas características de tensão e corrente dos

¹ Maximum power point tracker ou rastreador de ponto de máxima potência

módulos fotovoltaicos que também podem ser associados em arranjos série/paralelo chamados de *string*.

Para cada modelo de módulo, são realizados testes nas chamadas STC (*standard test conditions*, ou condições padrão de testes) dos quais serão obtidos parâmetros de tensão, corrente e potência quando ele é submetido a $1000\text{W}/\text{m}^2$ de irradiância, 25°C de temperatura do módulo e coeficiente de massa de ar AM1.5. São esses parâmetros V_{oc} (tensão de circuito aberto), I_{sc} (corrente de curto-circuito), P_{max} (potência máxima), $V_{p_{mp}}$ (tensão de máxima potência), $I_{p_{mp}}$ (corrente de máxima potência), além dos coeficientes de desvio de V_{oc} , I_{sc} e P_{max} em função da temperatura. Todos esses parâmetros podem ser encontrados no *datasheet* do módulo e são essenciais para o correto dimensionamento do sistema. Além do STC, também podem ser feitos testes nas condições NOCT (*nominal operating cell temperature*, ou temperatura nominal de operação da célula), que estabelecem os valores de V_{oc} , I_{sc} , P_{max} , V_{mp} e I_{mp} sob irradiância de $800\text{W}/\text{m}^2$, temperatura do ar de 20°C , vento de $1\text{m}/\text{s}$ e montagem com a traseira do módulo aberta.

O encapsulamento do módulo tem a função de protegê-lo contra intempéries e de garantir a ele resistência mecânica. É constituído de um sanduíche de vidro temperado de alta transparência, acetato de etil vinila (EVA, do inglês Ethylene-vinyl acetate), células fotovoltaicas, EVA estabilizado, e um filme posterior isolante (PINHO; GALDINO, 2014, p. 132).

2.2.2 Inversor

O inversor é o dispositivo responsável por converter a energia dos módulos na forma de tensão contínua para a alternada. Cada modelo de inversor possui características elétricas de entrada que, juntamente com as características elétricas dos módulos, ditarão as conexões do arranjo fotovoltaico. Destaca-se a tensão de entrada (que em geral limita a quantidade de módulos em série na *string*), a corrente de entrada (que limita a quantidade de *strings* em paralelo por entrada do inversor) e potência máxima (global e por entrada).

Além disso, conta com as proteções e outros dispositivos necessários para a conexão com a rede como dispositivo anti-ilhamento, dispositivo para sincronização com a rede, diodos para proteção contra corrente reversa, etc. O ilhamento ocorre quando há interrupção na transmissão de energia pela rede da distribuidora e um

sistema fotovoltaico permanece em funcionamento, deixando o local “ilhado” com energia elétrica, o que representa um risco para a manutenção da rede. Os requisitos de segurança podem ser encontrados na NBR 16149 (ABNT, 2013), que estabelece as recomendações específicas para a interface de conexão entre os sistemas fotovoltaicos e a rede de distribuição de energia elétrica e estabelece seus requisitos (ABNT, 2013), e na Resolução Normativa ANEEL nº 956, que estabelece os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (ANEEL, 2021).

De suas características mecânicas, destaca-se o grau de proteção IP e método de arrefecimento, que podem ser importantes em projetos maiores mas que raramente são diferenciais em SFCRs residenciais.

Também existem os chamados microinversores, inversores de potências mais baixas, capazes de operar com poucos módulos, que possuem algumas vantagens como menor tamanho, maior eficiência, entradas independentes para os módulos, etc, conforme descrito por Fernandes (2020).

Pode ser definida uma relação entre a potência pico do gerador, referente aos módulos, e a potência nominal do inversor, chamada de FDI (fator de dimensionamento do inversor) (PINHO; GALDINO, 2014):

$$FDI = \frac{P_{Nca}(W)}{P_{FV}(Wp)} \quad (1)$$

onde:

FDI (adimensional) - Fator de dimensionamento do inversor;

$P_{Nca}(W)$ - Potência nominal em corrente alternada do inversor ;

$P_{FV}(Wp)$ - Potência pico do painel fotovoltaico

O FDI é útil para otimizar a ocupação do inversor, uma vez que a potência CC suportada por ele é em geral superior à nominal, o que é justificado pelo fato que sistemas fotovoltaicos podem operar sob irradiâncias diferentes das condições dos testes em laboratório (muitas vezes superiores) e pelas próprias margens de segurança dos fabricantes desse equipamento. Ainda, para fins econômicos, deve-se dimensionar o inversor para trabalhar com o máximo carregamento possível sem excluir os requisitos de segurança e eficiência para se obter maior retorno financeiro, uma vez que o preço do inversor está diretamente relacionado

com a sua potência. De acordo com Hoffmann (2021), os resultados mostraram que os menores custos da energia FV gerada foram obtidos com o maior carregamento dos inversores.

2.2.3 Bloco de armazenamento

O bloco de armazenamento é composto de baterias e tipicamente de controladores de carga. As baterias são responsáveis por armazenar a energia excedente do SFV e o controlador de carga para controlar a descarga da bateria quando ela entra em atividade.

Controladores de carga são incluídos na maioria dos SFI com o objetivo de proteger a bateria (ou banco de baterias) contra cargas e descargas excessivas, aumentando a sua vida útil. Controladores de carga são componentes críticos em sistemas fotovoltaicos isolados (SFI), pois, caso venham a falhar, a bateria poderá sofrer danos irreversíveis (PINHO; GALDINO, 2014, p; 203).

O uso de sistemas de armazenamento é uma opção viável para fornecer energia elétrica em sistemas isolados em casos em que não há geração ou ela é insuficiente. Já no caso de sistemas conectados à rede, embora seja tecnicamente possível, o uso de baterias para fornecer energia em caso de faltas da rede não é permitido pela regulamentação vigente, sendo necessário até mesmo proteções anti-ilhamento no SFV, conforme mencionado na seção **2.2.2**.

2.2.4 Proteções elétricas

Instalações elétricas precisam contar com dispositivos de proteção contra choques elétricos, sobretensão, incêndios, efeitos térmicos e seccionamento conforme normas como a NBR 16690 (ABNT, 2019) e NBR 5410 (ABNT, 2004). Em sistemas fotovoltaicos a maioria dos equipamentos já conta com proteções (por exemplo, inversores contam com diodos para impedir a corrente reversa para os módulos), mas ainda são necessárias proteções extras. A stringbox é o principal componente de proteção CC do sistema fotovoltaico e inclui dispositivo seccionador (chave seccionadora ou disjuntor), dispositivo de proteção contra sobretensão (DPS) e dispositivo de proteção contra sobrecorrente (disjuntor ou fusível).

2.2.5 Cabeamento

O cabeamento CC é responsável por transportar a energia dos módulos fotovoltaicos para o inversor e deve ser dimensionado considerando o comprimento, tensão nominal, nível de perdas desejado e os limites de queda de tensão conforme NBR 5410 e NBR 16690. A NBR 16612 (ABNT, 2020) especifica os requisitos mínimos dos cabos para uso em sistemas fotovoltaicos, que se diferem dos cabos tradicionais CC principalmente nas características necessárias para conferir resistência ao tempo, como os materiais do condutor e da isolação.

2.2.6 Estruturas de fixação

A estrutura de suporte dos módulos é responsável por fixá-los onde serão instalados, garantindo estabilidade e ventilação (para dissipação de calor). É encontrada em diversas formas como estrutura para solo, poste, telhado, etc, podendo contar com um equipamento para rastreamento do sol.

Em SFCRs residenciais e comerciais a instalação normalmente é feita sobre telhados, aproveitando sua inclinação mas podendo ainda contar com ajustes para deixar a inclinação mais próxima da latitude, garantindo assim maior eficiência no sistema.

Para que a instalação de um sistema fotovoltaico seja feita de maneira correta, a carga mecânica deve ser levada em consideração. Junto a isso, a estrutura e local onde o sistema será instalado devem ter capacidade para suportar a carga, visando a prevenção de prejuízos e acidentes. Ademais, recomenda-se que seja realizada uma avaliação estrutural por um engenheiro civil

2.2.7 Monitoramento

É possível realizar o monitoramento do SFV, com os objetivos de acompanhar e documentar seu desempenho ao longo do tempo e detectar falhas, garantindo assim maior confiabilidade e segurança do sistema.

O monitoramento é feito por dispositivos já inclusos nos inversores, ou através de outros dispositivos externos, que coletam dados do sistema fotovoltaico e

os lançam em plataformas específicas. Já existem empresas que fazem o monitoramento de usinas e que aproveitam estes dados para realizar todo tipo de manutenção (preventiva e corretiva) necessária para o sistema.

Monitorando a geração, problemas triviais como sujeira nos módulos, que causa queda na geração ou ainda mais graves como defeitos no inversor que causam interrupção na geração ficam mais evidentes, tornando possível a realização de manutenção conforme a necessidade.

2.3 RECURSO SOLAR

O Sol é a principal fonte de energia para a Terra e sua radiação fornece luz e calor para o planeta. Para o devido funcionamento de SFVs, o recurso solar, em outras palavras, a “quantidade de sol” do local onde ele será instalado deve ser avaliada e utilizada no dimensionamento do sistema.

Dois fatores determinantes para o recurso solar são o ângulo de incidência dos raios solares e a quantidade de horas de luz diárias, o que significa que eles dependerão, além das condições climáticas, da latitude do local e da posição do planeta em sua órbita. Devido a inclinação de $23^{\circ}27'$ do eixo de rotação da Terra em relação ao eixo perpendicular ao plano orbital da Terra (eclíptica), conforme o planeta percorre sua trajetória em torno do Sol, a face que fica mais tempo exposta à luz solar transita de Norte a Sul (Figura 2), sendo que quanto maior a latitude mais se estará sujeito a variações na quantidade de horas de luz. Todos esses fatores somados são responsáveis pela irradiação do local, que pode ser medido de diversas maneiras.

Figura 2 - Órbita terrestre e variação do hemisfério mais iluminado



Fonte: Departamento de Astronomia do Instituto de Física da UFRGS (2012)

Os dados solarimétricos podem ser medidos diretamente do local, através de equipamentos como o piranômetro, mas também podem ser obtidos de diversos bancos de dados disponíveis, compilados a partir de anos de acompanhamento por estações solarimétricas, além de extrapolações e interpolações desses dados para locais distantes de onde foram medidos, e também por estimações a partir de dados de satélite.

Alguns dos principais bancos de dados utilizados pelas empresas de energia solar no Brasil são: o Atlas Solarimétrico do Brasil, desenvolvido através do convênio FADE-UFPE / CEPTEL, publicado e distribuído pelo CRESESB, o Atlas Brasileiro de Energia Solar publicado pelo INPE, desenvolvido dentro do escopo do projeto SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment) em parceria entre a DMA / CPTEC / INPE e o LEPTEN / UFSC e o SunData, disponível no site do CRESESB (CRESESB, 2017).

2.4 INDICADORES DE DESEMPENHO

Vale destacar dois indicadores de desempenho de sistemas fotovoltaicos, sendo eles a PR e o rendimento específico. A PR (*performance ratio*) indica a porcentagem da energia sendo injetada na rede CA relativa ao máximo teórico de energia absorvida pelo sistema considerando a eficiência dos equipamentos. Já o rendimento específico indica a quantidade de energia (em kWh) que cada kWp dos módulos está gerando. Ambos os indicadores servem para analisar a eficiência de SFVs, o que permite comparar sistemas de diferentes tamanhos localizados na mesma região.

2.5 DIMENSIONAMENTO

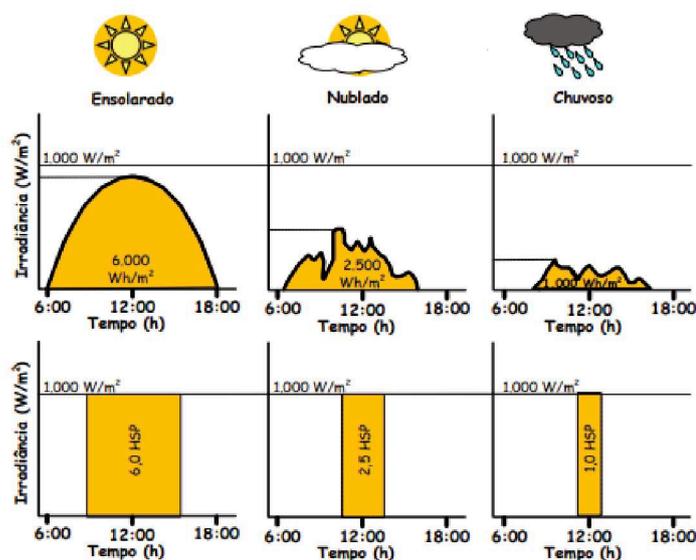
Para realizar o dimensionamento do sistema fotovoltaico, são necessários dois fatores essenciais, sendo eles o consumo (que se traduz na geração esperada) e o recurso solar do local onde ele será instalado. Esses dois fatores serão expandidos em outros, conforme visto a seguir.

2.5.1 Potência do gerador

O principal fator do sistema fotovoltaico a ser dimensionado é a potência do gerador, que se traduz na potência total dos módulos fotovoltaicos, no qual todos os equipamentos deverão se basear.

Para o dimensionamento da potência do gerador, pode-se usar o conceito do HSP (número de Horas de Sol Pleno), que reflete o número de horas em que a irradiância solar deve permanecer constante e igual a 1 kW/m² (1.000 W/m²), de forma que a energia resultante seja equivalente à energia disponibilizada pelo Sol no local em questão, acumulada ao longo de um dado dia (PINHO; GALDINO, 2014, p. 300). A representação gráfica da HSP pode ser vista na Figura 3.

Figura 3 - Exemplo de perfis de radiação solar diária com valores equivalentes de HSP



Fonte: Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (2014)

Pinho e Galdino propõem a seguinte equação para o dimensionamento de SFCRs:

$$P_{FV}(W_p) = \frac{(E/TD)}{HSP_{MA}} \quad (2)$$

Sendo:

$P_{FV}(W_p)$ - Potência pico do gerador fotovoltaico

E (Wh/dia) - Consumo diário médio anual da edificação ou fração deste

HSP_{MA} (h) - Média diária anual da HSP incidente no plano do painel FV

TD (adimensional) - Taxa de desempenho (PR)

A despeito disso, em última análise “o dimensionamento de um SFCR é condicionado pelos recursos financeiros disponíveis para investimento e pela área disponível para sua instalação, muito mais do que propriamente pelas questões técnicas ou de desempenho”. (PINHO; GALDINO, 2014, p. 330).

Dimensionada a potência do sistema, pode-se avaliar a tecnologia dos módulos adotada no projeto, mas como a maioria dos modelos que se encontra no mercado são de p-Si, pouco se justifica o uso de tecnologias diferentes.

2.5.2 Inversor

O FDI é um fator que pode ser considerado no dimensionamento, uma vez que ele impacta diretamente no rendimento do sistema. Em geral, para se obter o melhor custo-benefício possível, ocupa-se ao máximo o inversor, de modo que a geração não seja prejudicada, o que pode ser verificado através de simulações computacionais.

O correto dimensionamento do SFV deve respeitar as características de tensão e corrente tanto dos módulos quanto dos inversores. Apesar de contar com dispositivos de proteção, idealmente deve-se respeitar os limites da tensão e corrente de entrada do inversor, limitando os arranjos de módulos

2.5.3 Cabeamento

Conforme NBR 5410, o cabeamento elétrico deve respeitar limites de queda de tensão especificados, o que permite utilizar a seguinte equação para o dimensionamento dos cabos:

$$S(\text{mm}^2) = \rho \left(\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right) \times \frac{d(\text{m}) \times I(\text{A})}{\Delta V(\text{V})} \quad (3)$$

Onde:

ρ - resistividade do material do condutor

d - distância total do condutor, considerando o trecho de retorno (ida e volta)

I - corrente que passa pelo condutor

ΔV - queda de tensão tolerada no cabeamento analisado

2.5.4 Simulação

Feito o dimensionamento, é possível realizar a simulação computacional do sistema, através de diversos softwares disponíveis no mercado, com destaque para o PVSYST e PVSOL, o que permite a verificação da compatibilidade dos equipamentos adotados e o desempenho do sistema (em suma, a geração). No caso do PVSOL, ainda é possível realizar o posicionamento dos módulos em um modelo 3D do local permitindo melhor alocação. Os cálculos realizados pelo software consideram a irradiação (através do banco de dados Meteonorm 8.1 ou de valores inseridos pelo usuário), temperatura ambiente (utilizada para calcular a temperatura dos módulos), radiação difusa e albedo, sombreamento e características elétricas das associações dos módulos e inversores, gerando um relatório completo onde pode-se verificar a geração e as perdas no sistema.

Atualmente, pode-se gerar o modelo 3D a partir de outros softwares de processamento de imagens, feito a partir de voos de drone automatizados, que contam com sensores que auxiliam a interpretação do espaço físico e permitem a criação de modelos altamente precisos, processo chamado de fotogrametria. O modelo 3D também pode ser feito através da extrusão de uma imagem de vista superior do local (em geral, imagens de satélite ou de drones não automatizados) que fornece um modelo menos preciso mas que também pode ser utilizado para simulação e visualização do sistema a ser instalado.

O resultado da simulação pode ser utilizado para outras análises, em especial a de viabilidade econômica, por fornecer uma previsão confiável do funcionamento do sistema.

2.6 LEGISLAÇÃO

Da legislação que rege a energia fotovoltaica no Brasil, em especial para microgeração, de consumidores próprios, pode-se destacar algumas leis, decretos, resoluções e normas técnicas além das já mencionadas em seções anteriores que tiveram importância histórica ou para o período da confecção deste trabalho.

A primeira norma a respeito da conexão de sistemas fotovoltaicos à rede para autoconsumo foi a REN 482 (ANEEL, 2012), chamada de Marco Legal da GD, a qual define os procedimentos para requerer a autorização e o registro do SFCR,

introduziu na regulação o sistema de compensação de energia (net metering), redução da TUST e TUSD para consumidores com autogeração, possibilitou a instalação de geração distribuída em condomínios, criou a "geração compartilhada" (que permite associações e cooperativas de geração) e estabeleceu regras que simplificam o processo de conexão de sistemas de geração à rede das distribuidoras.

Já a lei 14.300, promulgada em 2022, promoveu algumas mudanças para o setor, sendo as mais relevantes o estabelecimento de outras regras para a compensação de energia e da cobrança de ICMS no fio B da TUSD para sistemas instalados até 31/12/2022. Em contrapartida, a lei 194 de 2022 passou a considerar a energia elétrica, assim como combustíveis, comunicações e transporte coletivo, um bem ou serviço essencial e indispensável, que não pode ser tratado como supérfluo (2022, Art 1º), o que significa que fica estabelecido o teto de 18% no ICMS.

2.7 INDICADORES DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Para as pessoas e empresas que buscam a energia solar, além de aspectos ecológicos e da sustentabilidade dessa fonte de energia, um fator importantíssimo é a atratividade financeira devido ao aumento do preço da energia elétrica causado pelas crises hídricas (que resultam nas bandeiras da conta de luz, que elevam a tarifa em períodos de seca), aumento do consumo pela população (necessitando a compra por parte das concessionárias de energia de fontes mais caras), etc. Assim, para se avaliar a rentabilidade do investimento na geração fotovoltaica, são utilizados indicadores econômicos, destacando-se o Valor Presente Líquido, a Taxa Interna de Retorno, LCOE e tempo de *payback*.

2.7.1. VPL

O VPL nada mais é do que o valor presente de fluxo de caixa já definido anteriormente, ou seja, é a soma algébrica dos valores presentes de todos os componentes do fluxo de caixa (a soma dos valores presentes das entradas de caixa menos a soma dos valores presentes das saídas de caixa) (PUCCINI, 2016, p. 108).

Dessa forma, pode ser entendido como o montante que se tem hoje equivalente ao quanto um investimento renderá ao longo do tempo. Assim, ele considera os descontos obtidos na conta de luz e os gastos referentes à operação e manutenção ao longo da vida útil do SFV e os traz para o presente. Pode ser utilizado um intervalo de 25 anos, tempo usualmente considerado como a vida útil de um sistema fotovoltaico. Um investimento com VPL positivo é considerado viável pois isso significa que ele gera retorno positivo e quanto maior o VPL, maior o rendimento.

$$VPL = \left[\sum_{k=1}^n \frac{PMT_k}{(1+i)^k} \right] - PV \quad (4)$$

Sendo:

PMT_k: Fluxos de entrada de caixa no período k, aqui representados pela economia na conta de energia e pelos gastos com operação e manutenção

PV: Saída de caixa na origem (investimento)

i: Taxa de atratividade do investimento

n: número de períodos (aqui anos) considerados na análise

2.7.2 TIR

A TIR (Taxa Interna de Retorno) “é a taxa em que o valor presente líquido do fluxo de caixa que entra em um investimento é igual ao valor presente do fluxo de caixa que sai do investimento” (KELLISON, 2009, p. 252). Em outras palavras, a TIR é a taxa de atratividade utilizada no VPL tal que este seja igual a zero.

$$TIR = i / VPL = \left[\sum_{k=1}^n \frac{PMT_k}{(1+i)^k} \right] - PV = 0 \quad (5)$$

Sendo:

PMT_k: Fluxos de entrada de caixa no período k, aqui representados pela economia na conta de energia e pelos gastos com operação e manutenção

PV: Saída de caixa na origem (investimento)

i: Taxa de atratividade do investimento

n : número de períodos (aqui anos) considerados na análise

Isto posto, do ponto de vista matemático, se a TIR for superior a zero, pode-se considerar o investimento viável. Também pode-se compará-la com uma TMA (taxa mínima de atratividade) “equivalente à rentabilidade das aplicações correntes e de pouco risco” (CASAROTTO FILHO; KOPITTKKE, 2007, p. 108), em que sendo a TIR superior à TMA, o investimento é dito atrativo.

2.7.3 LCOE

Considerando o investimento no sistema fotovoltaico, é possível calcular o custo da energia elétrica gerada localmente, chamado LCOE (*levelized cost of electricity* ou custo nivelado de eletricidade), cujo objetivo é “fornecer comparações entre diferentes tecnologias, com diferentes tamanhos de projeto, tempo de vida, custo de capital, retorno, risco e capacidades” (LAI; McCULLOCH, 2016, p.2; tradução do autor). Para a verificação do LCOE é possível adotar diversos métodos, contudo neste trabalho o modelo escolhido e utilizado é o anualizado. Para isso divide-se o valor presente da soma dos custos do SFV (em geral, CAPEX² + custos de operação e manutenção) anualizados pela média anual da geração de energia.

$$LCOE = \frac{Ann(\text{Custos})}{Ann(\text{Geração})} = \frac{\left(\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \right) \cdot \left(\frac{r}{1-(1+r)^{-n}} \right)}{\frac{(\sum_{t=1}^n E_t)}{n}} \quad (6)$$

Sendo:

Ann : Anualização

C_t : custos do período

E_t : economia do período, que se traduz na diminuição da conta de energia elétrica

r : taxa de atratividade do investimento

n : número de períodos

² *Capital expenditure* ou despesa de capital.

Se o LCOE for inferior ao custo de energia da concessionária, do ponto de vista matemático, o investimento no SFV é considerado viável.

2.7.4 Tempo de *Payback*

O tempo de *payback* pode ser definido como o tempo necessário para que o investimento inicial do SFCR retorne ao investidor. Pode ser feita uma análise mais simples, que considera apenas o investimento inicial no sistema, chamado de *payback* simples, mas também é possível incluir na análise o valor do dinheiro no tempo, sendo chamado de *payback* descontado. Aqui será adotado o *payback* simples, conforme equação 7:

$$P_t = \frac{CAPEX}{E_t} \quad (7)$$

Sendo E_t a economia por período de tempo advinda do investimento no SFCR.

A análise pelo tempo de *payback* apesar de bastante simples é limitada, uma vez que não considera outros fatores que podem influenciar no rendimento do investimento, como por exemplo fluxos de caixa posteriores, mudanças no regime de impostos e etc, de forma que ele deve ser usado apenas como uma referência para o investidor.

Segundo estudo da Greener (2022), o tempo de *payback* para SFCRs residenciais (4kWp) varia de 3,9 até 6,2 anos, enquanto que para os comerciais (40kWp) varia de 3,1 até 5 anos. A amplitude do tempo de *payback* se justifica principalmente pela variabilidade da irradiância e da tarifa de energia elétrica no território brasileiro.

3 METODOLOGIA

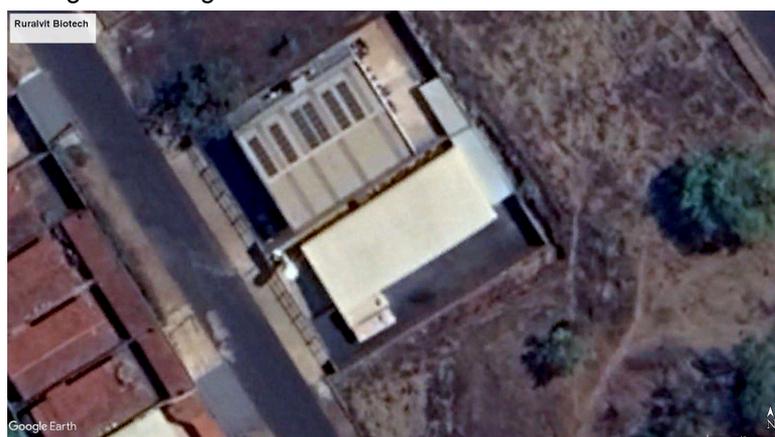
Nesta seção, serão discutidas as premissas a serem adotadas no sistema fotovoltaico analisado, realizado o dimensionamento e, por fim, será estabelecida a metodologia da análise de viabilidade econômica. Em todas as análises será considerado o sistema operando a partir de 1 de Janeiro de 2023.

3.1 SELEÇÃO DO CASO

O caso selecionado neste trabalho foi o sistema fotovoltaico em telhado, a ser adquirido por uma indústria de pequeno porte, fabricante de um produto para controle biológico de pragas, chamada RuralVit Biotech, localizada no município de Uberaba, Minas Gerais.

Trata-se de um telhado metálico, de dimensões de 25m x 10,5m , com orientação nordeste, que pode ser visto na Figura 4. Será adotado o consumo do ano de 2020 da unidade consumidora 3414115300 como referência para o consumo, uma vez que foi o ano com maior produção. O consumo médio anual da UC é de 4155kWh/mês e está detalhado mês a mês na tabela 1.

Figura 4: Imagem de satélite do imóvel da Ruralvit Biotech.



Fonte: Google Earth, 2022

Tabela 1 - Consumo da UC 3014115300 em 2020 em kWh

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
4090	4766	5506	5205	5128	2713	2342	2632	3770	3883	4619	5200	4155

Fonte: Autor (2023)

A empresa tem a expectativa de que o sistema dimensionado a ser instalado em seu telhado terá capacidade suficiente para suprir seu consumo totalmente.

3.2 Dimensionamento

3.2.1 Premissas

Uma vez que o fator limitante do sistema é a área, a premissa para o dimensionamento é de gerar 100% da energia consumida no ano de 2020, referência que no caso analisado representa a fábrica operando à plena potência, utilizando a área de seu telhado. Caso a área não seja suficiente, a análise será feita considerando a maior potência possível de ser instalada no telhado.

3.2.2 Potência do gerador

A potência do gerador, ou seja, a quantidade de módulos, é dimensionada considerando o consumo médio de 4155kWh por mês. Avalia-se então o recurso solar disponível no local.

Adotando a irradiação solar diária média mensal referente ao plano horizontal horizontal como 5,14kWh/m².dia, segundo dados disponibilizados pelo CRESESB (detalhados na Figura 3), consumo diário médio de 138,47kWh e 75% de taxa de desempenho, pode-se calcular a potência utilizando a equação 2.

$$P_{FV} = \frac{(4155/30/0,75)}{5,14} = 35,91kWp \quad (8)$$

Figura 5 - Irradiação solar diária média no plano horizontal para o município de Uberaba-MG

Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Uberaba
Município: Uberaba, MG - BRASIL
Latitude: 19.801° S
Longitude: 47.949° O
Distância do ponto de ref. (19,786687° S; 47,91852° O): 3,6 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	5,51	5,77	5,00	4,93	4,39	4,13	4,42	5,37	5,24	5,59	5,53	5,81	5,14	1,68
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	20° N	5,03	5,51	5,09	5,48	5,28	5,20	5,49	6,25	5,52	5,45	5,10	5,22	5,38	1,23
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	20° N	5,03	5,51	5,09	5,48	5,28	5,20	5,49	6,25	5,52	5,45	5,10	5,22	5,38	1,23
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	18° N	5,09	5,58	5,10	5,44	5,21	5,11	5,41	6,19	5,51	5,49	5,16	5,30	5,38	1,10

Fonte: CRESESB

Para se ter a potência final do gerador, deve-se escolher o módulo que será utilizado. Como não há diferença significativa do preço dos módulos e das estruturas necessárias quando se comparam os equipamentos disponíveis na distribuidora (tabela 2), optou-se pela marca Longi, modelo LR5-72HPH-550M, cujas características elétricas podem ser vistas na tabela 3, devido a sua maior eficiência.

Tabela 2 - Características econômicas e de potência dos módulos disponíveis na distribuidora

Modelo	Potência (Wp)	Preço do módulo	Preço módulo/Wp	Preço da estrutura/Wp	Preço total/Wp	Eficiência
TRINA SOLAR TSM-DE09-405W	405	R\$ 762,04	R\$ 1,88	R\$ 0,11	R\$ 1,99	21,10%
BYD HALF CELL - 455 MGK-36	455	R\$ 1.274,87	R\$ 2,80	R\$ 0,10	R\$ 2,90	20,90%
DAH SOLAR DHT-M60X10-460W	460	R\$ 911,33	R\$ 1,98	R\$ 0,10	R\$ 2,08	21,30%
TSM-DE18M(II)-510W	510	R\$ 1.023,24	R\$ 2,01	R\$ 0,09	R\$ 2,09	21,20%
LR5-72HPH-550M	550	R\$ 1.080,00	R\$ 1,96	R\$ 0,08	R\$ 2,04	21,50%

Fonte: Autor

Tabela 3 - Características elétricas do módulo Longi LR5-72HPH-550M

LR5-72HPH-550M		
	STC	NOCT
Potência máxima (W)	550	410,7
Tensão de circuito aberto (V)	49,8	46,69
Corrente de curto-circuito (A)	13,98	11,31
Tensão de máxima potência (V)	41,95	39,06
Corrente de máxima potência (A)	13,12	10,52
Eficiência (%)	21,5	

Fonte: Autor

Dividindo 33,67kWp pela potência de 550Wp do módulo escolhido, tem-se 65,30 e portanto 66 módulos que totalizam 36,30kWp.

3.2.3 Inversor

A partir das características elétricas e da quantidade de módulos, pode ser feita a escolha do inversor. Dada a potência de 36,30kWp, procurou-se um inversor que operasse nessa faixa de potência, com FDI em torno de 100%. Optou-se pela fabricante Huawei, devido a preferência da Ruralvit Biotech. O modelo é o SUN2000-36KTL-M3, que resulta em um FDI de 101,66%. As principais características elétricas do inversor estão na tabela 4.

Tabela 4 - Dados do inversor Huawei SUN2000-36KTL-M3

SUN2000-36KTL-M3	
Tensão Máxima de Entrada	1,1kV
Corrente Máxima por MPPT	26A
Corrente de Curto-Circuito por MPPT	40A
Tensão de Partida	200V
Tensão Operacional do MPPT	200V-1000V
Tensão Nominal de entrada	600V
Nº de Rastreadores MPPT	4
Nº de Entradas por MPPT	2

Fonte: Autor

3.2.4 Layout

Feito o dimensionamento, a compatibilidade dos equipamentos deve então ser verificada, de forma que seja possível fazer todas as conexões necessárias entre módulos e inversores.

Conforme a simulação/modelagem, optou-se pelo layout de 3 linhas de 18 módulos e 1 linha de 16 módulos. Como há 4 MPPTs disponíveis no inversor, e a fim de simplificar a elaboração das strings, pode-se considerar que cada linha de módulos será conectada com seus módulos em série, cada string em uma entrada

do inversor. Os resultados elétricos dos arranjos podem ser vistos na tabela 5. Com as tensões das strings dentro da faixa de operação do MPPT e a corrente de operação inferior à suportada pelo inversor, esta combinação de módulos e inversor é compatível e pode ser utilizada.

Tabela 5 - Resultados elétricos dos arranjos fotovoltaicos dimensionados

Linha	Voc	Vmp	Tensão Operacional do MPPT	Isc (string)	Imp (string)	I entrada máxima por MPPT	Isc por MPPT
18 módulos	896,4	755,1	200V-1000V	13,98	13,12A	26A	40A
16 módulos	796,8	671,2	200V-1000V	13,98	13,12A	26A	40A

Fonte: Autor

3.2.5 Simulação

O sistema dimensionado será então simulado, com o objetivo de verificar seu desempenho. A simulação será feita no software PVSOL, utilizando como base o modelo 3D extrudado (Figura 6) a partir da Figura 4, que apesar da sua baixa resolução, tem precisão suficiente para ser utilizada para fins de dimensionamento e simulação.

Figura 6 - Modelo 3D extrudado



Fonte: Autor

O software permite a seleção de alguns parâmetros para a simulação do sistema, com destaque para os dados climáticos (irradiância e temperatura média), modelo de radiação difusa e no nível inclinado, e perdas por mismatch, sujeira e cabeamento. Adotaram-se os dados de irradiância do CRESESB, de temperatura média do INMET, modelo de radiação difusa de Erbs et al(1982)³, de radiação no plano inclinado de Hay & Davies⁴, e de perdas⁵ por mismatch, sujeira e cabeamento de 2%, 1,5% e 1,5%, respectivamente.

3.3 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Com o dimensionamento e simulação do sistema fotovoltaico, e orçamento do preço dos equipamentos e custos de integração, parte-se para a análise de viabilidade econômica para se obter os indicadores desejados. A análise será feita levando em consideração um horizonte de investimento de 25 anos (tempo de garantia de geração pelo fabricante dos módulos), com uma degradação de eficiência de 2% no primeiro ano e 0,55% nos anos seguintes, conforme datasheet do equipamento. Será utilizado o valor da TMA de 0,5% ao mês, referente ao rendimento da poupança em Dezembro de 2022. A análise será feita em planilhas, que consideram o consumo constante em todos os anos, geração com a já mencionada degradação dos módulos e sistema de compensação de créditos com as regras da Lei 14.300. Com isso, é possível prever o valor das faturas levando em conta também impostos (ICMS de conexão anterior ao limite da Lei 14.300 para isenção do Fio B, PIS e PASEP) e COSIP (Contribuição para o Custeio do Serviço de Iluminação Pública), com reajustes para os valores da TE, TUSD e COSIP de 4% ao ano. Também foram avaliados os custos com O&M, inicialmente de R\$50,00/kWp/ano⁶, também reajustado em 4% ao ano.

³ Segundo estudo feito por SOUZA (2018), o modelo de Erbs et. al (1982) demonstrou ser o mais generalizável para o território brasileiro.

⁴ Foi adotado o modelo de Hay & Davies (1980) que segundo Tieghi e Dal Pai (2021) se mostrou o mais próximo dos valores medidos na cidade de Botucatu-SP, razoavelmente próxima de Uberaba MG.

⁵ Valores retirados da Figura 15 de DE ARAÚJO et. al. (2016, p.32), adaptado de DGS (2013).

⁶ Retirado de Parâmetros de Custos – Geração e Transmissão, dos Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 do Ministério de Minas e Energia (2021).

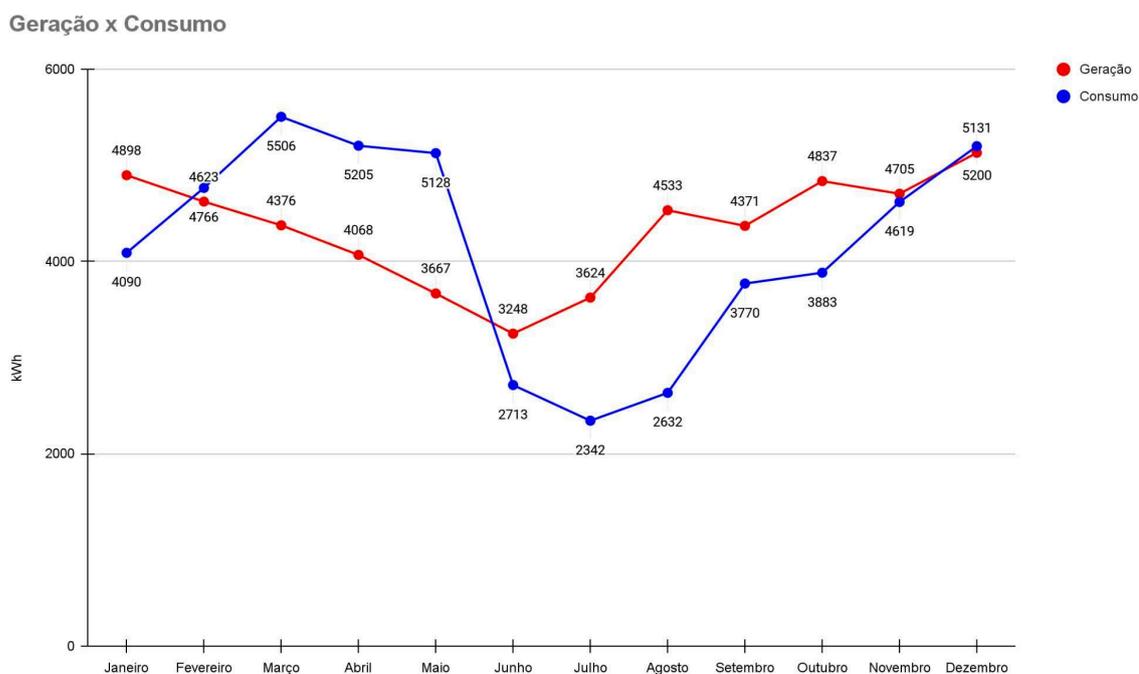
4 RESULTADOS

4.1 DIMENSIONAMENTO

Como todas as análises dependem dos resultados do dimensionamento, eles foram os primeiros a serem avaliados. Os resultados da simulação computacional do sistema foram utilizados como a geração do primeiro ano e a dos 24 seguintes foram contabilizadas em planilhas para incluir a degradação da eficiência dos módulos.

Da simulação, foi obtida geração de 49.496kWh por ano, em detalhes no ano de 2023 do Anexo A, com rendimento específico de 1434,06kWh/kWp e PR de 79,5%. O comparativo da geração com o consumo pode ser visto na Figura 7. Como pode ser visto no tabela da fatura em kWh (Apêndice C), o sistema é suficiente para fornecer toda a energia consumida do segundo ao vigésimo ano, e em todos exceto 3 meses do vigésimo-quinto ano. Dessa maneira, do ponto de vista energético, é possível dizer que o sistema dimensionado atende aos requisitos de projeto estabelecidos inicialmente.

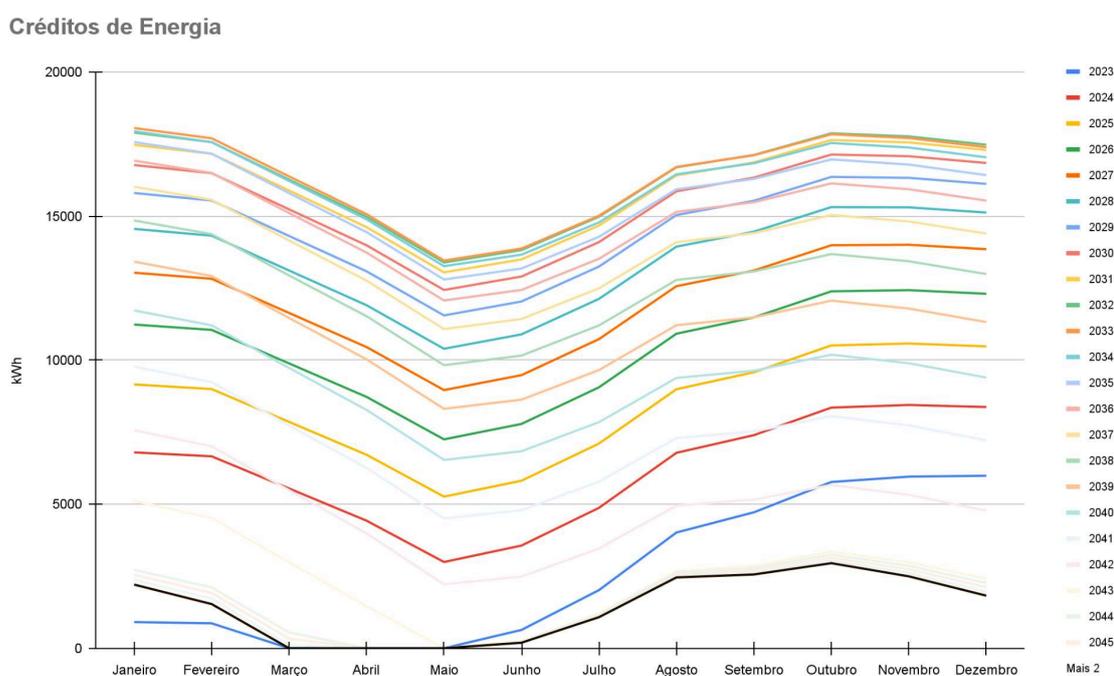
Figura 7 - Gráfico da geração e consumo em 2023



Fonte: Autor

O gráfico dos créditos de energia acumulados por mês ao longo dos anos (Figura 8) permite visualizar o comportamento do sistema, que acumula créditos nos meses de maior geração, e os gasta nos meses de maior consumo, com o acúmulo mensal diminuindo ano após ano com a degradação da eficiência do sistema. Nos primeiros anos a tendência do sistema é acumular créditos, já que a geração é maior que o consumo, de forma que se observa a curvas com o mesmo formato subindo ano após ano. Com a degradação do sistema, as curvas passam a descer a partir do momento que a geração fica abaixo do consumo e tem suas inclinações alteradas no momento que os créditos atingem zero pela primeira vez.

Figura 8: Gráficos dos créditos de energia acumulados por mês, por ano



4.2 VIABILIDADE ECONÔMICA

De posse da geração, e levando em conta os fatores destacados em 3.3, foram construídas as planilhas referentes à fatura, em kWh e em Reais (incluindo impostos e encargos), à partir das quais foram calculados os indicadores de viabilidade. Foi considerado um investimento total de R\$132.545,40, R\$94.793,40

para o kit fotovoltaico, orçado em uma empresa da escolha da Ruralvit Biotech no dia 06/12/2022, e R\$37.752,00 para integração, sendo R\$1,04 por kWp, valor médio da integração segundo Greener (2022).

4.2.1 VPL

Para o cálculo do VPL, considerou-se a economia, sendo fluxo de caixa positivo a diferença entre a fatura com e sem o sistema fotovoltaico, e como negativo o investimento do kit fotovoltaico, custos de instalação e custos com O&M (OPEX⁷), o que pode ser visto em detalhes no **Apêndice H**. Foi obtido VPL de R\$438.914,77, fornecendo retorno positivo.

4.2.2 TIR

Considerando o mesmo fluxo de caixa estabelecido anteriormente (**Apêndice H**), obtém-se TIR de 2,30%/a.m. A taxa encontrada é superior, por exemplo, ao 0,70% da poupança de Dezembro de 2022.

4.2.3 LCOE

A partir do fluxo de caixa dos gastos com o sistema fotovoltaico (CAPEX e OPEX) e da energia por ele gerada, utiliza-se a equação 6 para calcular o LCOE, a fim de compará-lo com a tarifa de energia paga pelo consumidor. Obteve-se o valor de R\$0,22/kWh de LCOE, consideravelmente mais baixo que os R\$0,74 cobrados pela distribuidora em Dezembro de 2022.

4.2.4 Payback

Observando o fluxo de caixa da economia real (Apêndice H), obtém-se o payback simples, que se realiza em 4 anos e 1 mês, valor que se encontra dentro da média do estudo da Greener (2022) mencionado em **2.7.4**.

⁷ Operational expenditure ou despesas operacionais.

5 CONCLUSÃO

Com este estudo, foi possível levantar as informações necessárias para a realização do dimensionamento e análise de viabilidade econômica de um empreendimento de energia solar fotovoltaica. O sistema dimensionado para a Ruralvit Biotech atendeu aos requisitos impostos, gerando toda a energia consumida no local, por 20 anos. Foram levantados os indicadores de viabilidade econômica, que verificaram a “positividade” do investimento, com VPL positivo, TIR superior à taxa de diversos investimentos tradicionais e payback de 4 anos e 1 mês, todos valores dentro do esperado do local onde o sistema seria instalado. A fim de se obter os resultados mais exatos possíveis, buscou-se trazer justificativas técnico-científicas para cada parâmetro aqui utilizado.

Por fim, cabe levantar as limitações deste trabalho e melhorias para torná-lo ainda mais preciso. Ainda que os resultados teóricos indiquem que o sistema é viável, parâmetros não modelados podem impactar diretamente no rendimento do sistema fotovoltaico, de forma que os resultados aqui obtidos têm alcance limitado. Por exemplo, a troca de inversor pode ser necessária e impactaria fortemente no *payback* do sistema analisado. Também deve ser considerada a limitação dessa análise econômica, que depende de fatores aleatórios como o clima, de forma que acima de tudo o investimento em energia fotovoltaica não é livre de riscos. Outra limitação é de caráter temporal, uma vez que sendo as análises feitas com base no ano de 2023, mudanças como por exemplo a da tecnologia fotovoltaica e da rede elétrica, do surgimento de obstáculos que causem sombreamento no sistema ou ainda no regime de compensação de energia elétrica também podem impactar a análise como um todo. Pensando na melhoria deste trabalho pode-se realizar estudos mais detalhados da geração, em especial simulações mais realistas e em outros softwares, prever alterações na curva de carga, e pode-se considerar outros fatores na análise de viabilidade econômica, como a inclusão de outros gastos, estimativa de bandeiras tarifárias, etc, além das atualizações referentes ao tempo mencionadas anteriormente. Ainda, com alguns ajustes, é possível adaptar este trabalho para um relatório a fim de ser utilizado diretamente pela empresa alvo do estudo.

Dessa maneira, este estudo de caso é satisfatório para se analisar e interpretar os resultados da instalação de um sistema fotovoltaico.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR. **Capacidade de energia solar no Brasil deve crescer 42% em 2023, a 34 GW, prevê Absolar**. 2022. Disponível em:

<<https://www.absolar.org.br/noticia/capacidade-de-energia-solar-no-brasil-deve-crescer-42-em-2023-a-34-gw-preve-absolar/>>. Acesso em: 24 de Janeiro de 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410** - Instalações elétricas de baixa tensão. 2004. Disponível em: <<https://www.abntcolecao.com.br/normavw.aspx?Q=bWI2M29BSEtyWIVJbENwRjI1YjBsZVpLZkIYYXhzalloQWtIUvZ4bjJxWT0=>>>. Acesso em: 01 de Dezembro de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16149** - Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição. 2013. Disponível em:

<<https://www.abntcolecao.com.br/normavw.aspx?Q=cDZ4TFRjVfDzR3RscDhlczk0QjMyMUMxazZPZktXVIBNdFpWbzZZTStiTT0=>>>. Acesso em: 01 de Dezembro de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16612** - Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos, não halogenados, isolados, com cobertura, para tensão de até 1,8 kV C.C. entre condutores - Requisitos de desempenho. 2020. Disponível em:

<<https://www.abntcolecao.com.br/normavw.aspx?Q=cFAzaXprcC80czliZzIYOG9pM0IyNDIjNmRKMWxPSmxaNUc5NHpveVIOTT0=>>>. Acesso em: 01 de Dezembro de 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **REN 482** - Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. 2012. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 19 de Novembro de 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **REN 956** - Estabelece os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, revoga as Resoluções Normativas nº 395, de 15 de dezembro de 2009; nº 424, de 17 de dezembro de 2010; nº 432, de 5 de abril de 2011 e dá outras providências. 2021. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2021956.html>>. Acesso em: 19 de Novembro de 2022.

DE ARAÚJO, Ana Júlia Nunes; RANK, Narah luata; BUENO, Talita Bezerra de Araujo. **Análise dos fatores de perdas nos sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica em Curitiba**. 2019. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.

BRASIL. **Lei nº 14.300, de 6 de Janeiro de 2022**. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia

Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. 2022. Disponível em: <<https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>>. Acesso em: 19 de Novembro de 2022.

BRITISH PETROLEUM. **Statistical Review of World Energy**. 2020. Disponível em: <<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>>. Acesso em: 24 de Janeiro de 2023.

CASAROTTO FILHO, Nelson. KOPITCKE, Bruno Hartmut. **Análise de Investimentos**: Matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial. 10. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO. **Potencial Solar** - SunData v 3.0. 2020. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 30 de Novembro de 2022.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO. **Fontes de dados eólicos e solares**. 2017. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=fontes_dados_vento_sol>. Acesso em: 30 de Janeiro de 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2018** - Ano base 2017. 2018. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018__Int.pdf>. Acesso em: 25 de Janeiro de 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2022** - Ano base 2021. 2022. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>>. Acesso em: 25 de Janeiro de 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2030**. 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/PDE%202030_RevisaoPosCP_rv2.pdf>. Acesso em: 25 de Janeiro de 2023.

FERNANDES, Caíque Gonçalves. **Estudo comparativo do uso de Inversor String e Microinversores na Geração de Energia Elétrica em Instalações Fotovoltaicas**. 2020. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

GREEN, Martin A. **Silicon Photovoltaic Modules: A Brief History of the First 50 Years**. 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/pip.612>>. Acesso em: 03 de Dezembro de 2022.

GREENER. **Estudo Estratégico Geração Distribuída - Mercado Fotovoltaico**. 2022. Disponível em: <<https://www.greener.com.br/estudo/estudo-estrategico-geracao-distribuida-2022-mercado-fotovoltaico-1-semester/>>. Acesso em: 28 de Novembro de 2022.

HOFFMANN, Marcelo Ramos. **Impactos do Dimensionamento do Inversor no Custo Nivelado de Energia e na Atratividade Financeira de uma Usina Fotovoltaica**. 2021. Trabalho de conclusão de curso - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

HUAWEI. **SUN2000-30/36/40KTL-M3 - Technical Specification**. Disponível em: <https://solar.huawei.com/-/media/Solar/attachment/pdf/apac/datasheet/SUN2000-29_9-40KTL-M3.pdf>. Acesso em: 30 de Janeiro de 2023.

KELLISON, Stephen G. **The Theory of Interest**. 3. ed. Florida: McGraw Hill, 2009.

LAI, Chun S.; MCCULLOCH, Malcolm D. **Levelized cost of electricity for solar photovoltaic and electrical energy storage**. 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626191631933X>>. 27 de Novembro de 2022.

LONGI. **LR5-72HPH 525~550M**. Disponível em: <<https://www.energiasolarphb.com.br/wp-content/uploads/2021/10/LONGI-545W-MONO-PERC-LR5-72HPH-545M.pdf>>. Acesso em: 30 de Janeiro de 2023.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antônio. **Manual de Engenharia para Energia Fotovoltaica**. Rio de Janeiro: CEPEL - CRESESB, 2014.

PUCCINI, Ernesto Coutinho. **Matemática Financeira e Análise de Investimentos**. 3. ed. Florianópolis, 2007. Disponível em: <<https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/643232/2/Matem%C3%A1tica%20Financeira%20e%20An%C3%A1lise%20de%20Investimentos.pdf>>. Acesso em: 28 de Novembro de 2022.

SOUZA, G. K.; MACAGNAN, M. H. **Comparação de Modelos de Radiação Difusa Horária a partir de dados medidos pela Rede Sonda em algumas cidades do Brasil**. 2017. Congresso Brasileiro de Energia Solar, 7, 2018, Gramado-RS. Disponível em: <<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/677>>. Acesso em: 30 de Janeiro de 2023.

TIEGHI, Camila P.; DAL PAI, Alexandre. **Modelos de estimativa da irradiação solar global em superfície vertical**. 2021. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/download/16721/14928/213308>>. Acesso em: 21 de Janeiro de 2023.

APÊNDICE A - PLANILHA DA GERAÇÃO

Geração (kWh)												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2023	4898	4623	4376	4068	3667	3248	3624	4533	4371	4837	4705	5131
2024	4800	4531	4289	3987	3593	3183	3551	4443	4283	4740	4611	5029
2025	4774	4506	4265	3965	3574	3166	3532	4418	4260	4714	4586	5001
2026	4747	4481	4242	3943	3554	3149	3512	4394	4236	4688	4560	4974
2027	4721	4456	4218	3922	3534	3131	3493	4370	4213	4662	4535	4946
2028	4695	4432	4195	3900	3515	3114	3474	4346	4190	4636	4510	4919
2029	4669	4407	4172	3878	3496	3097	3455	4322	4167	4611	4486	4892
2030	4644	4383	4149	3857	3476	3080	3436	4298	4144	4585	4461	4865
2031	4618	4359	4126	3836	3457	3063	3417	4274	4121	4560	4436	4838
2032	4593	4335	4104	3815	3438	3046	3398	4251	4098	4535	4412	4812
2033	4568	4311	4081	3794	3419	3029	3379	4228	4076	4510	4388	4785
2034	4542	4288	4059	3773	3400	3013	3361	4204	4053	4485	4364	4759
2035	4517	4264	4036	3752	3382	2996	3342	4181	4031	4461	4340	4733
2036	4493	4240	4014	3732	3363	2980	3324	4158	4009	4436	4316	4707
2037	4468	4217	3992	3711	3345	2963	3306	4135	3987	4412	4292	4681
2038	4443	4194	3970	3691	3326	2947	3287	4113	3965	4388	4268	4655
2039	4419	4171	3948	3670	3308	2931	3269	4090	3943	4363	4245	4629
2040	4395	4148	3927	3650	3290	2915	3251	4067	3921	4339	4222	4604
2041	4370	4125	3905	3630	3272	2899	3233	4045	3900	4316	4198	4579
2042	4346	4102	3884	3610	3254	2883	3216	4023	3878	4292	4175	4554
2043	4323	4080	3862	3590	3236	2867	3198	4001	3857	4268	4152	4528
2044	4299	4057	3841	3571	3218	2851	3180	3979	3836	4245	4129	4504
2045	4275	4035	3820	3551	3200	2835	3163	3957	3815	4221	4107	4479
2046	4252	4013	3799	3531	3183	2820	3145	3935	3794	4198	4084	4454
2047	4228	3991	3778	3512	3165	2804	3128	3913	3773	4175	4062	4430

APÊNDICE B - PLANILHA DOS CRÉDITOS DE ENERGIA NA CONCESSIONÁRIA

Créditos de energia (kWh)												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2023	908	865	0	0	0	635	2017	4018	4719	5772	5959	5990
2024	6800	6665	5547	4429	2995	3565	4874	6785	7398	8355	8447	8376
2025	9159	8999	7858	6718	5264	5817	7106	8993	9582	10513	10579	10481
2026	11238	11053	9889	8727	7253	7788	9059	10920	11487	12391	12433	12306
2027	13038	12828	11640	10457	8963	9481	10732	12570	13113	13992	14008	13854
2028	14560	14326	13115	11910	10397	10898	12129	13943	14463	15316	15307	15126
2029	15806	15547	14314	13087	11555	12038	13251	15041	15537	16365	16332	16124
2030	16778	16495	15238	13990	12439	12905	14099	15865	16339	17141	17083	16848
2031	17477	17170	15890	14621	13050	13500	14675	16417	16868	17645	17563	17301
2032	17904	17573	16271	14981	13391	13824	14980	16699	17127	17879	17772	17484
2033	18061	17707	16382	15071	13462	13878	15015	16711	17117	17844	17713	17398
2034	17950	17572	16225	14893	13265	13665	14783	16456	16839	17541	17386	17045
2035	17572	17170	15801	14448	12802	13185	14285	15934	16295	16973	16793	16426
2036	16929	16503	15111	13738	12073	12440	13522	15148	15487	16140	15936	15543
2037	16021	15572	14158	12765	11081	11431	12495	14098	14415	15044	14817	14398
2038	14851	14379	12943	11529	9827	10161	11206	12787	13082	13686	13436	12991
2039	13420	12924	11467	10032	8312	8630	9657	11215	11488	12068	11794	11324
2040	11728	11210	9731	8276	6538	6840	7849	9384	9636	10192	9895	9399
2041	9779	9238	7737	6262	4506	4792	5783	7296	7526	8058	7738	7216
2042	7573	7009	5487	3992	2218	2487	3461	4952	5160	5669	5325	4779
2043	5111	4525	2981	1467	0	254	1210	2678	2865	3351	2984	2412
2044	2721	2113	547	0	0	238	1176	2623	2789	3250	2861	2265
2045	2550	1919	333	0	0	222	1143	2568	2713	3151	2739	2118
2046	2379	1726	119	0	0	207	1110	2513	2637	3052	2617	1971
2047	2210	1534	0	0	0	191	1077	2459	2562	2954	2496	1826

APÊNDICE C - PLANILHA DA FATURA EM kWh

Fatura em kWh												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2023	100	100	265	1137	1461	100	100	100	100	100	100	100
2024	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2025	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2026	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2027	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2028	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2029	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2030	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2031	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2032	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2033	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2034	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2035	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2036	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2037	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2038	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2039	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2040	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2041	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2042	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2043	100	100	100	100	426	100	100	100	100	100	100	100
2044	100	100	100	1087	1910	100	100	100	100	100	100	100
2045	100	100	100	1322	1928	100	100	100	100	100	100	100
2046	100	100	100	1555	1945	100	100	100	100	100	100	100
2047	100	100	194	1693	1963	100	100	100	100	100	100	100

APÊNDICE D - PLANILHA DA FATURA EM REAIS COM SFV

Fatura em R\$ com SFV												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2023	R\$ 561,8 6	R\$ 625,2 7	R\$ 802,1 3	R\$ 1.343 ,56	R\$ 1.548 ,40	R\$ 432,6 8	R\$ 397,8 7	R\$ 425,0 8	R\$ 531,8 4	R\$ 542,4 4	R\$ 611,4 8	R\$ 665,9 9
2024	R\$ 594,3 9	R\$ 661,4 8	R\$ 734,9 2	R\$ 705,0 4	R\$ 697,4 0	R\$ 457,7 3	R\$ 420,9 1	R\$ 449,6 9	R\$ 562,6 3	R\$ 573,8 4	R\$ 646,8 9	R\$ 704,5 5
2025	R\$ 628,8 0	R\$ 699,7 7	R\$ 777,4 7	R\$ 745,8 7	R\$ 737,7 8	R\$ 484,2 3	R\$ 445,2 8	R\$ 475,7 3	R\$ 595,2 0	R\$ 607,0 7	R\$ 684,3 4	R\$ 745,3 4
2026	R\$ 665,2 1	R\$ 740,2 9	R\$ 822,4 8	R\$ 789,0 5	R\$ 780,5 0	R\$ 512,2 7	R\$ 471,0 6	R\$ 503,2 7	R\$ 629,6 7	R\$ 642,2 2	R\$ 723,9 6	R\$ 788,5 0
2027	R\$ 703,7 2	R\$ 783,1 5	R\$ 870,1 0	R\$ 834,7 4	R\$ 825,6 9	R\$ 541,9 3	R\$ 498,3 3	R\$ 532,4 1	R\$ 666,1 2	R\$ 679,4 0	R\$ 765,8 8	R\$ 834,1 5
2028	R\$ 744,4 7	R\$ 828,5 0	R\$ 920,4 8	R\$ 883,0 7	R\$ 873,5 0	R\$ 573,3 0	R\$ 527,1 9	R\$ 563,2 4	R\$ 704,6 9	R\$ 718,7 4	R\$ 810,2 3	R\$ 882,4 5
2029	R\$ 787,5 8	R\$ 876,4 7	R\$ 973,7 8	R\$ 934,2 0	R\$ 924,0 7	R\$ 606,5 0	R\$ 557,7 1	R\$ 595,8 5	R\$ 745,5 0	R\$ 760,3 5	R\$ 857,1 4	R\$ 933,5 4
2030	R\$ 833,1 8	R\$ 927,2 2	R\$ 1.030 ,16	R\$ 988,2 9	R\$ 977,5 8	R\$ 641,6 2	R\$ 590,0 0	R\$ 630,3 5	R\$ 788,6 6	R\$ 804,3 8	R\$ 906,7 7	R\$ 987,5 9
2031	R\$ 881,4 2	R\$ 980,9 0	R\$ 1.089 ,81	R\$ 1.045 ,51	R\$ 1.034 ,18	R\$ 678,7 6	R\$ 624,1 7	R\$ 666,8 4	R\$ 834,3 2	R\$ 850,9 5	R\$ 959,2 7	R\$ 1.044 ,77
2032	R\$ 932,4 5	R\$ 1.037 ,70	R\$ 1.152 ,91	R\$ 1.106 ,05	R\$ 1.094 ,06	R\$ 718,0 7	R\$ 660,3 0	R\$ 705,4 5	R\$ 882,6 3	R\$ 900,2 2	R\$ 1.014 ,81	R\$ 1.105 ,27
2033	R\$ 986,4 4	R\$ 1.097 ,78	R\$ 1.219 ,66	R\$ 1.170 ,09	R\$ 1.157 ,40	R\$ 759,6 4	R\$ 698,5 4	R\$ 746,3 0	R\$ 933,7 3	R\$ 952,3 5	R\$ 1.073 ,57	R\$ 1.169 ,26
2034	R\$ 1.043 ,55	R\$ 1.161 ,34	R\$ 1.290 ,28	R\$ 1.237 ,83	R\$ 1.224 ,42	R\$ 803,6 2	R\$ 738,9 8	R\$ 789,5 1	R\$ 987,8 0	R\$ 1.007 ,49	R\$ 1.135 ,73	R\$ 1.236 ,96

Fatura em R\$ com SFV												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2035	R\$ 1.103, 98	R\$ 1.228 ,58	R\$ 1.364 ,99	R\$ 1.309 ,50	R\$ 1.295 ,31	R\$ 850,1 5	R\$ 781,7 7	R\$ 835,2 2	R\$ 1.044 ,99	R\$ 1.065 ,82	R\$ 1.201 ,49	R\$ 1.308 ,58
2036	R\$ 1.167, 90	R\$ 1.299 ,72	R\$ 1.444 ,02	R\$ 1.385 ,32	R\$ 1.370 ,31	R\$ 899,3 8	R\$ 827,0 3	R\$ 883,5 8	R\$ 1.105 ,50	R\$ 1.127 ,53	R\$ 1.271 ,05	R\$ 1.384 ,35
2037	R\$ 1.235, 52	R\$ 1.374 ,97	R\$ 1.527 ,63	R\$ 1.465 ,53	R\$ 1.449 ,65	R\$ 951,4 5	R\$ 874,9 2	R\$ 934,7 4	R\$ 1.169 ,50	R\$ 1.192 ,81	R\$ 1.344 ,65	R\$ 1.464 ,50
2038	R\$ 1.307, 05	R\$ 1.454 ,58	R\$ 1.616 ,08	R\$ 1.550 ,39	R\$ 1.533 ,58	R\$ 1.006 ,54	R\$ 925,5 8	R\$ 988,8 6	R\$ 1.237 ,22	R\$ 1.261 ,88	R\$ 1.422 ,50	R\$ 1.549 ,30
2039	R\$ 1.382, 73	R\$ 1.538 ,80	R\$ 1.709 ,65	R\$ 1.640 ,16	R\$ 1.622 ,38	R\$ 1.064 ,82	R\$ 979,1 7	R\$ 1.046 ,12	R\$ 1.308 ,85	R\$ 1.334 ,94	R\$ 1.504 ,86	R\$ 1.639 ,00
2040	R\$ 1.462, 79	R\$ 1.627 ,90	R\$ 1.808 ,64	R\$ 1.735 ,12	R\$ 1.716 ,31	R\$ 1.126 ,47	R\$ 1.035 ,86	R\$ 1.106 ,69	R\$ 1.384 ,64	R\$ 1.412 ,23	R\$ 1.592 ,00	R\$ 1.733 ,90
2041	R\$ 1.547, 49	R\$ 1.722 ,15	R\$ 1.913 ,36	R\$ 1.835 ,58	R\$ 1.815 ,69	R\$ 1.191 ,70	R\$ 1.095 ,84	R\$ 1.170 ,77	R\$ 1.464 ,81	R\$ 1.494 ,00	R\$ 1.684 ,17	R\$ 1.834 ,29
2042	R\$ 1.637, 09	R\$ 1.821 ,87	R\$ 2.024 ,14	R\$ 1.941 ,86	R\$ 1.920 ,82	R\$ 1.260 ,70	R\$ 1.159 ,29	R\$ 1.238 ,55	R\$ 1.549 ,62	R\$ 1.580 ,51	R\$ 1.781 ,69	R\$ 1.940 ,50
2043	R\$ 1.731, 88	R\$ 1.927 ,35	R\$ 2.141 ,34	R\$ 2.054 ,30	R\$ 2.687 ,74	R\$ 1.333 ,69	R\$ 1.226 ,41	R\$ 1.310 ,27	R\$ 1.639 ,34	R\$ 1.672 ,02	R\$ 1.884 ,85	R\$ 2.052 ,85
2044	R\$ 1.832, 15	R\$ 2.038 ,95	R\$ 2.265 ,32	R\$ 4.275 ,35	R\$ 6.004 ,62	R\$ 1.410 ,91	R\$ 1.297 ,42	R\$ 1.386 ,13	R\$ 1.734 ,26	R\$ 1.768 ,83	R\$ 1.993 ,98	R\$ 2.171 ,71
2045	R\$ 1.938, 23	R\$ 2.157 ,00	R\$ 2.396 ,48	R\$ 5.051 ,27	R\$ 6.392 ,16	R\$ 1.492 ,60	R\$ 1.372 ,54	R\$ 1.466 ,39	R\$ 1.834 ,67	R\$ 1.871 ,24	R\$ 2.109 ,43	R\$ 2.297 ,46
2046	R\$ 2.050, 46	R\$ 2.281 ,89	R\$ 2.535 ,24	R\$ 5.899 ,65	R\$ 6.804 ,22	R\$ 1.579 ,02	R\$ 1.452 ,01	R\$ 1.551 ,29	R\$ 1.940 ,90	R\$ 1.979 ,59	R\$ 2.231 ,57	R\$ 2.430 ,48
2047	R\$ 2.169, 18	R\$ 2.414 ,01	R\$ 2.918 ,15	R\$ 6.589 ,98	R\$ 7.242 ,33	R\$ 1.670 ,45	R\$ 1.536 ,08	R\$ 1.641 ,11	R\$ 2.053 ,28	R\$ 2.094 ,21	R\$ 2.360 ,77	R\$ 2.571 ,20

APÊNDICE E - PLANILHA DA FATURA EM REAIS SEM SFV

Fatura em R\$ sem SFV												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2023	R\$ 3.167 ,84	R\$ 3.672 ,78	R\$ 4.225 ,51	R\$ 4.000 ,68	R\$ 3.943 ,17	R\$ 2.139 ,30	R\$ 1.862 ,19	R\$ 2.078 ,80	R\$ 2.928 ,82	R\$ 3.013 ,23	R\$ 3.562 ,98	R\$ 3.996 ,95
2024	R\$ 3.351 ,26	R\$ 3.885 ,43	R\$ 4.470 ,17	R\$ 4.232 ,32	R\$ 4.171 ,48	R\$ 2.263 ,17	R\$ 1.970 ,01	R\$ 2.199 ,16	R\$ 3.098 ,40	R\$ 3.187 ,69	R\$ 3.769 ,27	R\$ 4.228 ,37
2025	R\$ 3.545 ,30	R\$ 4.110, 40	R\$ 4.728 ,99	R\$ 4.477 ,38	R\$ 4.413 ,01	R\$ 2.394 ,21	R\$ 2.084 ,07	R\$ 2.326 ,50	R\$ 3.277 ,80	R\$ 3.372 ,26	R\$ 3.987 ,51	R\$ 4.473 ,20
2026	R\$ 3.750 ,57	R\$ 4.348 ,39	R\$ 5.002 ,80	R\$ 4.736 ,62	R\$ 4.668 ,52	R\$ 2.532 ,83	R\$ 2.204 ,74	R\$ 2.461 ,20	R\$ 3.467 ,58	R\$ 3.567 ,51	R\$ 4.218 ,39	R\$ 4.732 ,19
2027	R\$ 3.967 ,73	R\$ 4.600 ,16	R\$ 5.292 ,47	R\$ 5.010 ,87	R\$ 4.938 ,83	R\$ 2.679 ,48	R\$ 2.332 ,40	R\$ 2.603 ,70	R\$ 3.668 ,36	R\$ 3.774 ,07	R\$ 4.462 ,64	R\$ 5.006 ,19
2028	R\$ 4.197 ,46	R\$ 4.866 ,51	R\$ 5.598 ,90	R\$ 5.300 ,99	R\$ 5.224 ,79	R\$ 2.834 ,63	R\$ 2.467 ,44	R\$ 2.754 ,46	R\$ 3.880 ,75	R\$ 3.992 ,59	R\$ 4.721 ,02	R\$ 5.296 ,05
2029	R\$ 4.440 ,50	R\$ 5.148 ,28	R\$ 5.923 ,08	R\$ 5.607 ,92	R\$ 5.527 ,30	R\$ 2.998 ,75	R\$ 2.610 ,31	R\$ 2.913 ,94	R\$ 4.105 ,45	R\$ 4.223 ,76	R\$ 4.994 ,37	R\$ 5.602 ,69
2030	R\$ 4.697 ,60	R\$ 5.446 ,37	R\$ 6.266 ,02	R\$ 5.932 ,62	R\$ 5.847 ,33	R\$ 3.172 ,38	R\$ 2.761 ,44	R\$ 3.082 ,66	R\$ 4.343 ,16	R\$ 4.468 ,32	R\$ 5.283 ,54	R\$ 5.927 ,08
2031	R\$ 4.969 ,59	R\$ 5.761 ,71	R\$ 6.628 ,82	R\$ 6.276 ,12	R\$ 6.185 ,89	R\$ 3.356 ,06	R\$ 2.921 ,33	R\$ 3.261 ,14	R\$ 4.594 ,62	R\$ 4.727 ,03	R\$ 5.589 ,46	R\$ 6.270 ,26
2032	R\$ 5.257 ,33	R\$ 6.095 ,31	R\$ 7.012 ,63	R\$ 6.639 ,51	R\$ 6.544 ,06	R\$ 3.550 ,37	R\$ 3.090 ,48	R\$ 3.449 ,96	R\$ 4.860 ,65	R\$ 5.000 ,73	R\$ 5.913 ,09	R\$ 6.633 ,31
2033	R\$ 5.561 ,73	R\$ 6.448 ,23	R\$ 7.418 ,66	R\$ 7.023 ,93	R\$ 6.922 ,96	R\$ 3.755 ,94	R\$ 3.269 ,41	R\$ 3.649 ,72	R\$ 5.142 ,08	R\$ 5.290 ,27	R\$ 6.255 ,46	R\$ 7.017 ,38
2034	R\$ 5.883 ,75	R\$ 6.821 ,59	R\$ 7.848 ,20	R\$ 7.430 ,62	R\$ 7.323 ,80	R\$ 3.973 ,41	R\$ 3.458 ,71	R\$ 3.861 ,04	R\$ 5.439 ,81	R\$ 5.596 ,58	R\$ 6.617 ,65	R\$ 7.423 ,68

Fatura em R\$ sem SFV												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2035	R\$ 6.224, 42	R\$ 7.216 ,56	R\$ 8.302 ,62	R\$ 7.860 ,85	R\$ 7.747 ,84	R\$ 4.203 ,47	R\$ 3.658 ,97	R\$ 4.084 ,59	R\$ 5.754 ,78	R\$ 5.920 ,62	R\$ 7.000 ,81	R\$ 7.853 ,52
2036	R\$ 6.584, 82	R\$ 7.634 ,39	R\$ 8.783 ,34	R\$ 8.316 ,00	R\$ 8.196 ,44	R\$ 4.446 ,85	R\$ 3.870 ,83	R\$ 4.321 ,09	R\$ 6.087 ,98	R\$ 6.263 ,42	R\$ 7.406 ,16	R\$ 8.308 ,23
2037	R\$ 6.966, 08	R\$ 8.076 ,43	R\$ 9.291 ,89	R\$ 8.797 ,49	R\$ 8.671 ,02	R\$ 4.704 ,32	R\$ 4.094 ,95	R\$ 4.571 ,28	R\$ 6.440 ,47	R\$ 6.626 ,08	R\$ 7.834 ,97	R\$ 8.789 ,28
2038	R\$ 7.369, 41	R\$ 8.544 ,05	R\$ 9.829 ,89	R\$ 9.306 ,87	R\$ 9.173 ,07	R\$ 4.976 ,70	R\$ 4.332 ,04	R\$ 4.835 ,96	R\$ 6.813 ,37	R\$ 7.009 ,73	R\$ 8.288 ,62	R\$ 9.298 ,18
2039	R\$ 7.796, 10	R\$ 9.038 ,75	R\$ 10.39 9,04	R\$ 9.845 ,74	R\$ 9.704 ,19	R\$ 5.264 ,86	R\$ 4.582 ,87	R\$ 5.115, 96	R\$ 7.207 ,87	R\$ 7.415 ,59	R\$ 8.768 ,53	R\$ 9.836 ,54
2040	R\$ 8.247, 50	R\$ 9.562 ,09	R\$ 11.00 1,15	R\$ 10.41 5,80	R\$ 10.26 6,06	R\$ 5.569 ,69	R\$ 4.848 ,22	R\$ 5.412 ,17	R\$ 7.625 ,20	R\$ 7.844 ,95	R\$ 9.276 ,23	R\$ 10.40 6,08
2041	R\$ 8.725, 03	R\$ 10.11 5,74	R\$ 11.63 8,12	R\$ 11.01 8,88	R\$ 10.86 0,47	R\$ 5.892 ,18	R\$ 5.128 ,93	R\$ 5.725 ,54	R\$ 8.066 ,70	R\$ 8.299 ,17	R\$ 9.813 ,32	R\$ 11.00 8,59
2042	R\$ 9.230, 21	R\$ 10.70 1,44	R\$ 12.31 1,96	R\$ 11.65 6,87	R\$ 11.48 9,29	R\$ 6.233 ,33	R\$ 5.425 ,90	R\$ 6.057 ,05	R\$ 8.533 ,77	R\$ 8.779 ,70	R\$ 10.38 1,51	R\$ 11.64 5,99
2043	R\$ 9.764, 64	R\$ 11.32 1,05	R\$ 13.02 4,82	R\$ 12.33 1,80	R\$ 12.15 4,52	R\$ 6.594 ,24	R\$ 5.740 ,05	R\$ 6.407 ,75	R\$ 9.027 ,87	R\$ 9.288 ,04	R\$ 10.98 2,60	R\$ 12.32 0,29
2044	R\$ 10.33 0,01	R\$ 11.97 6,54	R\$ 13.77 8,96	R\$ 13.04 5,82	R\$ 12.85 8,27	R\$ 6.976 ,05	R\$ 6.072 ,40	R\$ 6.778 ,76	R\$ 9.550 ,59	R\$ 9.825 ,82	R\$ 11.61 8,50	R\$ 13.03 3,64
2045	R\$ 10.92 8,12	R\$ 12.66 9,99	R\$ 14.57 6,76	R\$ 13.80 1,17	R\$ 13.60 2,76	R\$ 7.379 ,96	R\$ 6.424 ,00	R\$ 7.171 ,25	R\$ 10.10 3,56	R\$ 10.39 4,73	R\$ 12.29 1,21	R\$ 13.78 8,29
2046	R\$ 11.560 ,85	R\$ 13.40 3,58	R\$ 15.42 0,76	R\$ 14.60 0,26	R\$ 14.39 0,36	R\$ 7.807 ,26	R\$ 6.795 ,95	R\$ 7.586 ,46	R\$ 10.68 8,56	R\$ 10.99 6,59	R\$ 13.00 2,87	R\$ 14.58 6,63
2047	R\$ 12.23 0,23	R\$ 14.17 9,64	R\$ 16.31 3,62	R\$ 15.44 5,61	R\$ 15.22 3,56	R\$ 8.259 ,30	R\$ 7.189 ,43	R\$ 8.025 ,72	R\$ 11.30 7,43	R\$ 11.63 3,29	R\$ 13.75 5,73	R\$ 15.43 1,19

APÊNDICE F - PLANILHA DA ECONOMIA EM REAIS NA FATURA

Economia em R\$ na fatura												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2023	R\$ 2.605 ,99	R\$ 3.047 ,50	R\$ 3.423 ,38	R\$ 2.657 ,13	R\$ 2.394 ,77	R\$ 1.706 ,63	R\$ 1.464 ,32	R\$ 1.653 ,73	R\$ 2.396 ,99	R\$ 2.470 ,79	R\$ 2.951 ,49	R\$ 3.330 ,96
2024	R\$ 2.756 ,88	R\$ 3.223 ,96	R\$ 3.735 ,26	R\$ 3.527 ,28	R\$ 3.474 ,08	R\$ 1.805 ,44	R\$ 1.549 ,10	R\$ 1.749 ,48	R\$ 2.535 ,77	R\$ 2.613 ,85	R\$ 3.122 ,39	R\$ 3.523 ,83
2025	R\$ 2.916 ,50	R\$ 3.410 ,62	R\$ 3.951 ,53	R\$ 3.731 ,51	R\$ 3.675 ,23	R\$ 1.909 ,98	R\$ 1.638 ,79	R\$ 1.850 ,77	R\$ 2.682 ,59	R\$ 2.765 ,19	R\$ 3.303 ,17	R\$ 3.727 ,86
2026	R\$ 3.085 ,36	R\$ 3.608 ,10	R\$ 4.180 ,32	R\$ 3.947 ,56	R\$ 3.888 ,02	R\$ 2.020 ,57	R\$ 1.733 ,68	R\$ 1.957 ,93	R\$ 2.837 ,92	R\$ 2.925 ,30	R\$ 3.494 ,43	R\$ 3.943 ,70
2027	R\$ 3.264 ,01	R\$ 3.817 ,01	R\$ 4.422 ,36	R\$ 4.176 ,13	R\$ 4.113, 14	R\$ 2.137 ,56	R\$ 1.834 ,06	R\$ 2.071 ,29	R\$ 3.002 ,23	R\$ 3.094 ,67	R\$ 3.696 ,75	R\$ 4.172 ,04
2028	R\$ 3.452 ,99	R\$ 4.038 ,01	R\$ 4.678 ,42	R\$ 4.417 ,93	R\$ 4.351 ,29	R\$ 2.261 ,32	R\$ 1.940 ,25	R\$ 2.191 ,22	R\$ 3.176 ,06	R\$ 3.273 ,85	R\$ 3.910 ,80	R\$ 4.413 ,60
2029	R\$ 3.652 ,92	R\$ 4.271 ,81	R\$ 4.949 ,30	R\$ 4.673 ,72	R\$ 4.603 ,23	R\$ 2.392 ,25	R\$ 2.052 ,59	R\$ 2.318 ,09	R\$ 3.359 ,95	R\$ 3.463 ,41	R\$ 4.137 ,23	R\$ 4.669 ,15
2030	R\$ 3.864 ,42	R\$ 4.519 ,15	R\$ 5.235 ,86	R\$ 4.944 ,33	R\$ 4.869 ,76	R\$ 2.530 ,76	R\$ 2.171 ,44	R\$ 2.452 ,31	R\$ 3.554 ,50	R\$ 3.663 ,94	R\$ 4.376 ,78	R\$ 4.939 ,49
2031	R\$ 4.088 ,17	R\$ 4.780 ,81	R\$ 5.539 ,02	R\$ 5.230 ,61	R\$ 5.151 ,72	R\$ 2.677 ,29	R\$ 2.297 ,16	R\$ 2.594 ,30	R\$ 3.760 ,30	R\$ 3.876 ,08	R\$ 4.630 ,19	R\$ 5.225 ,49
2032	R\$ 4.324 ,88	R\$ 5.057 ,62	R\$ 5.859 ,72	R\$ 5.533 ,46	R\$ 5.450 ,00	R\$ 2.832 ,31	R\$ 2.430 ,17	R\$ 2.744 ,51	R\$ 3.978 ,02	R\$ 4.100 ,51	R\$ 4.898 ,28	R\$ 5.528 ,04
2033	R\$ 4.575 ,29	R\$ 5.350 ,45	R\$ 6.199 ,00	R\$ 5.853 ,85	R\$ 5.765 ,55	R\$ 2.996 ,30	R\$ 2.570 ,88	R\$ 2.903 ,42	R\$ 4.208 ,35	R\$ 4.337 ,93	R\$ 5.181 ,89	R\$ 5.848 ,12
2034	R\$ 4.840 ,20	R\$ 5.660 ,24	R\$ 6.557 ,93	R\$ 6.192 ,79	R\$ 6.099 ,38	R\$ 3.169 ,79	R\$ 2.719 ,73	R\$ 3.071 ,53	R\$ 4.452 ,01	R\$ 4.589 ,09	R\$ 5.481 ,92	R\$ 6.186 ,72

Economia em R\$ na fatura												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2035	R\$ 5.120, 45	R\$ 5.987 ,97	R\$ 6.937 ,63	R\$ 6.551 ,35	R\$ 6.452 ,53	R\$ 3.353 ,32	R\$ 2.877 ,20	R\$ 3.249 ,37	R\$ 4.709 ,79	R\$ 4.854 ,80	R\$ 5.799 ,32	R\$ 6.544 ,93
2036	R\$ 5.416, 92	R\$ 6.334 ,68	R\$ 7.339 ,32	R\$ 6.930 ,67	R\$ 6.826 ,14	R\$ 3.547 ,47	R\$ 3.043 ,79	R\$ 3.437 ,51	R\$ 4.982 ,48	R\$ 5.135 ,89	R\$ 6.135 ,10	R\$ 6.923 ,88
2037	R\$ 5.730, 56	R\$ 6.701 ,45	R\$ 7.764 ,26	R\$ 7.331 ,96	R\$ 7.221 ,37	R\$ 3.752 ,87	R\$ 3.220 ,03	R\$ 3.636 ,54	R\$ 5.270 ,97	R\$ 5.433 ,26	R\$ 6.490 ,33	R\$ 7.324 ,78
2038	R\$ 6.062, 36	R\$ 7.089 ,47	R\$ 8.213 ,82	R\$ 7.756 ,48	R\$ 7.639 ,49	R\$ 3.970 ,16	R\$ 3.406 ,47	R\$ 3.847 ,09	R\$ 5.576 ,16	R\$ 5.747 ,85	R\$ 6.866 ,12	R\$ 7.748 ,88
2039	R\$ 6.413, 37	R\$ 7.499 ,95	R\$ 8.689 ,40	R\$ 8.205 ,58	R\$ 8.081 ,81	R\$ 4.200 ,04	R\$ 3.603 ,70	R\$ 4.069 ,84	R\$ 5.899 ,02	R\$ 6.080 ,65	R\$ 7.263 ,67	R\$ 8.197 ,54
2040	R\$ 6.784, 71	R\$ 7.934 ,19	R\$ 9.192 ,51	R\$ 8.680 ,68	R\$ 8.549 ,75	R\$ 4.443 ,22	R\$ 3.812 ,36	R\$ 4.305 ,48	R\$ 6.240 ,57	R\$ 6.432 ,72	R\$ 7.684 ,23	R\$ 8.672 ,18
2041	R\$ 7.177, 54	R\$ 8.393 ,58	R\$ 9.724 ,76	R\$ 9.183 ,29	R\$ 9.044 ,78	R\$ 4.700 ,48	R\$ 4.033 ,09	R\$ 4.554 ,77	R\$ 6.601 ,90	R\$ 6.805 ,17	R\$ 8.129 ,15	R\$ 9.174 ,30
2042	R\$ 7.593, 12	R\$ 8.879 ,57	R\$ 10.28 7,82	R\$ 9.715 ,01	R\$ 9.568 ,47	R\$ 4.972 ,64	R\$ 4.266 ,61	R\$ 4.818 ,49	R\$ 6.984 ,15	R\$ 7.199 ,19	R\$ 8.599 ,83	R\$ 9.705 ,49
2043	R\$ 8.032, 76	R\$ 9.393 ,70	R\$ 10.88 3,49	R\$ 10.27 7,51	R\$ 9.466 ,78	R\$ 5.260 ,55	R\$ 4.513 ,65	R\$ 5.097 ,48	R\$ 7.388 ,53	R\$ 7.616 ,02	R\$ 9.097 ,76	R\$ 10.26 7,44
2044	R\$ 8.497, 86	R\$ 9.937 ,60	R\$ 11.51 3,64	R\$ 8.770 ,47	R\$ 6.853 ,65	R\$ 5.565 ,14	R\$ 4.774 ,99	R\$ 5.392 ,63	R\$ 7.816 ,33	R\$ 8.056 ,99	R\$ 9.624 ,52	R\$ 10.86 1,92
2045	R\$ 8.989, 88	R\$ 10.51 2,98	R\$ 12.18 0,28	R\$ 8.749 ,89	R\$ 7.210 ,60	R\$ 5.887 ,36	R\$ 5.051 ,46	R\$ 5.704 ,86	R\$ 8.268 ,89	R\$ 8.523 ,49	R\$ 10.18 1,78	R\$ 11.49 0,83
2046	R\$ 9.510, 40	R\$ 11.12 1,68	R\$ 12.88 5,52	R\$ 8.700 ,61	R\$ 7.586 ,14	R\$ 6.228 ,24	R\$ 5.343 ,94	R\$ 6.035 ,17	R\$ 8.747 ,66	R\$ 9.017 ,00	R\$ 10.77 1,30	R\$ 12.15 6,15
2047	R\$ 10.06 1,05	R\$ 11.76 5,63	R\$ 13.39 5,47	R\$ 8.855 ,63	R\$ 7.981 ,24	R\$ 6.588 ,85	R\$ 5.653 ,35	R\$ 6.384 ,61	R\$ 9.254 ,15	R\$ 9.539 ,09	R\$ 11.39 4,96	R\$ 12.85 9,99

APÊNDICE H - PLANILHA DA ECONOMIA REAL

Economia Real												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2023	R\$ 2.463 ,91	R\$ 2.905 ,42	R\$ 3.281 ,30	R\$ 2.515 ,05	R\$ 2.252 ,68	R\$ 1.564 ,55	R\$ 1.322 ,23	R\$ 1.511, 64	R\$ 2.254 ,90	R\$ 2.328 ,71	R\$ 2.809 ,41	R\$ 3.188 ,88
2024	R\$ 2.609 ,11	R\$ 3.076 ,19	R\$ 3.587 ,49	R\$ 3.379 ,51	R\$ 3.326 ,31	R\$ 1.657 ,68	R\$ 1.401 ,33	R\$ 1.601 ,71	R\$ 2.388 ,01	R\$ 2.466 ,08	R\$ 2.974 ,62	R\$ 3.376 ,06
2025	R\$ 2.762 ,82	R\$ 3.256 ,94	R\$ 3.797 ,85	R\$ 3.577 ,83	R\$ 3.521 ,55	R\$ 1.756 ,30	R\$ 1.485 ,12	R\$ 1.697 ,09	R\$ 2.528 ,92	R\$ 2.611, 51	R\$ 3.149 ,49	R\$ 3.574 ,18
2026	R\$ 2.925 ,54	R\$ 3.448 ,27	R\$ 4.020 ,50	R\$ 3.787 ,74	R\$ 3.728 ,20	R\$ 1.860 ,74	R\$ 1.573 ,86	R\$ 1.798 ,11	R\$ 2.678 ,09	R\$ 2.765 ,47	R\$ 3.334 ,60	R\$ 3.783 ,87
2027	R\$ 3.097 ,79	R\$ 3.650 ,79	R\$ 4.256 ,14	R\$ 4.009 ,91	R\$ 3.946 ,92	R\$ 1.971 ,34	R\$ 1.667 ,84	R\$ 1.905 ,08	R\$ 2.836 ,01	R\$ 2.928 ,45	R\$ 3.530 ,54	R\$ 4.005 ,82
2028	R\$ 3.280 ,13	R\$ 3.865 ,14	R\$ 4.505 ,55	R\$ 4.245 ,06	R\$ 4.178 ,42	R\$ 2.088 ,45	R\$ 1.767 ,39	R\$ 2.018 ,36	R\$ 3.003 ,19	R\$ 3.100 ,99	R\$ 3.737 ,93	R\$ 4.240 ,73
2029	R\$ 3.473 ,14	R\$ 4.092 ,03	R\$ 4.769 ,51	R\$ 4.493 ,94	R\$ 4.423 ,45	R\$ 2.212 ,47	R\$ 1.872 ,81	R\$ 2.138 ,31	R\$ 3.180 ,17	R\$ 3.283 ,63	R\$ 3.957 ,45	R\$ 4.489 ,37
2030	R\$ 3.677 ,45	R\$ 4.332 ,18	R\$ 5.048 ,89	R\$ 4.757 ,36	R\$ 4.682 ,78	R\$ 2.343 ,79	R\$ 1.984 ,47	R\$ 2.265 ,34	R\$ 3.367 ,52	R\$ 3.476 ,97	R\$ 4.189 ,80	R\$ 4.752 ,52
2031	R\$ 3.893 ,72	R\$ 4.586 ,36	R\$ 5.344 ,57	R\$ 5.036 ,16	R\$ 4.957 ,26	R\$ 2.482 ,84	R\$ 2.102 ,71	R\$ 2.399 ,85	R\$ 3.565 ,85	R\$ 3.681 ,63	R\$ 4.435 ,74	R\$ 5.031 ,04
2032	R\$ 4.122 ,65	R\$ 4.855 ,39	R\$ 5.657 ,50	R\$ 5.331 ,23	R\$ 5.247 ,77	R\$ 2.630 ,08	R\$ 2.227 ,94	R\$ 2.542 ,28	R\$ 3.775 ,79	R\$ 3.898 ,28	R\$ 4.696 ,05	R\$ 5.325 ,81
2033	R\$ 4.364 ,97	R\$ 5.140 ,13	R\$ 5.988 ,68	R\$ 5.643 ,53	R\$ 5.555 ,24	R\$ 2.785 ,98	R\$ 2.360 ,56	R\$ 2.693 ,10	R\$ 3.998 ,03	R\$ 4.127 ,61	R\$ 4.971 ,57	R\$ 5.637 ,80
2034	R\$ 4.621 ,47	R\$ 5.441 ,51	R\$ 6.339 ,19	R\$ 5.974 ,06	R\$ 5.880 ,65	R\$ 2.951 ,05	R\$ 2.501 ,00	R\$ 2.852 ,79	R\$ 4.233 ,28	R\$ 4.370 ,36	R\$ 5.263 ,19	R\$ 5.967 ,99

Economia Real												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2035	R\$ 4.892, 97	R\$ 5.760 ,49	R\$ 6.710 ,15	R\$ 6.323 ,87	R\$ 6.225 ,05	R\$ 3.125 ,84	R\$ 2.649 ,72	R\$ 3.021 ,89	R\$ 4.482 ,31	R\$ 4.627 ,32	R\$ 5.571 ,84	R\$ 6.317 ,45
2036	R\$ 5.180, 34	R\$ 6.098 ,10	R\$ 7.102 ,74	R\$ 6.694 ,09	R\$ 6.589 ,56	R\$ 3.310 ,89	R\$ 2.807 ,21	R\$ 3.200 ,93	R\$ 4.745 ,90	R\$ 4.899 ,31	R\$ 5.898 ,53	R\$ 6.687 ,31
2037	R\$ 5.484, 52	R\$ 6.455 ,41	R\$ 7.518 ,22	R\$ 7.085 ,92	R\$ 6.975 ,33	R\$ 3.506 ,83	R\$ 2.973 ,99	R\$ 3.390 ,49	R\$ 5.024 ,93	R\$ 5.187 ,22	R\$ 6.244 ,29	R\$ 7.078 ,74
2038	R\$ 5.806, 48	R\$ 6.833 ,58	R\$ 7.957 ,93	R\$ 7.500 ,60	R\$ 7.383 ,60	R\$ 3.714 ,28	R\$ 3.150 ,59	R\$ 3.591 ,21	R\$ 5.320 ,27	R\$ 5.491 ,96	R\$ 6.610 ,23	R\$ 7.493 ,00
2039	R\$ 6.147, 25	R\$ 7.233 ,83	R\$ 8.423 ,28	R\$ 7.939 ,46	R\$ 7.815 ,69	R\$ 3.933 ,92	R\$ 3.337 ,58	R\$ 3.803 ,72	R\$ 5.632 ,90	R\$ 5.814 ,53	R\$ 6.997 ,55	R\$ 7.931 ,42
2040	R\$ 6.507, 94	R\$ 7.657 ,43	R\$ 8.915 ,75	R\$ 8.403 ,92	R\$ 8.272 ,99	R\$ 4.166 ,45	R\$ 3.535 ,59	R\$ 4.028 ,72	R\$ 5.963 ,80	R\$ 6.155 ,95	R\$ 7.407 ,47	R\$ 8.395 ,42
2041	R\$ 6.889, 71	R\$ 8.105 ,75	R\$ 9.436 ,92	R\$ 8.895 ,46	R\$ 8.756 ,95	R\$ 4.412 ,64	R\$ 3.745 ,26	R\$ 4.266 ,94	R\$ 6.314 ,06	R\$ 6.517 ,34	R\$ 7.841 ,31	R\$ 8.886 ,46
2042	R\$ 7.293, 77	R\$ 8.580 ,23	R\$ 9.988 ,47	R\$ 9.415 ,66	R\$ 9.269 ,12	R\$ 4.673 ,29	R\$ 3.967 ,26	R\$ 4.519 ,14	R\$ 6.684 ,80	R\$ 6.899 ,84	R\$ 8.300 ,48	R\$ 9.406 ,14
2043	R\$ 7.721, 44	R\$ 9.082 ,38	R\$ 10.57 2,16	R\$ 9.966 ,18	R\$ 9.155 ,45	R\$ 4.949 ,23	R\$ 4.202 ,32	R\$ 4.786 ,16	R\$ 7.077 ,21	R\$ 7.304 ,70	R\$ 8.786 ,43	R\$ 9.956 ,12
2044	R\$ 8.174, 08	R\$ 9.613 ,82	R\$ 11.18 9,86	R\$ 8.446 ,70	R\$ 6.529 ,88	R\$ 5.241 ,36	R\$ 4.451 ,21	R\$ 5.068 ,85	R\$ 7.492 ,55	R\$ 7.733 ,22	R\$ 9.300 ,74	R\$ 10.53 8,15
2045	R\$ 8.653, 16	R\$ 10.17 6,26	R\$ 11.84 3,55	R\$ 8.413 ,17	R\$ 6.873 ,87	R\$ 5.550 ,63	R\$ 4.714 ,73	R\$ 5.368 ,13	R\$ 7.932 ,17	R\$ 8.186 ,77	R\$ 9.845 ,05	R\$ 11.15 4,10
2046	R\$ 9.160, 20	R\$ 10.77 1,49	R\$ 12.53 5,32	R\$ 8.350 ,41	R\$ 7.235 ,94	R\$ 5.878 ,04	R\$ 4.993 ,74	R\$ 5.684 ,98	R\$ 8.397 ,46	R\$ 8.666 ,81	R\$ 10.42 1,11	R\$ 11.80 5,95
2047	R\$ 9.696, 85	R\$ 11.40 1,43	R\$ 13.03 1,27	R\$ 8.491 ,43	R\$ 7.617 ,03	R\$ 6.224 ,65	R\$ 5.289 ,15	R\$ 6.020 ,40	R\$ 8.889 ,95	R\$ 9.174 ,88	R\$ 11.03 0,76	R\$ 12.49 5,79

ANEXO A - FOLHA DE DADOS DO MÓDULO FOTOVOLTAICO LONGI LR5-72HPH-550M

Hi-MO 5m

LR5-72HPH 530~550M

- Based on M10-182mm wafer, best choice for ultra-large power plants
- Advanced module technology delivers superior module efficiency
 - M10 Gallium-doped Wafer • Smart Soldering • 9-busbar Half-cut Cell
- Excellent outdoor power generation performance
- High module quality ensures long-term reliability



12-year Warranty for
Materials and Processing



25-year Warranty for Extra
Linear Power Output

Complete System and Product Certifications

IEC 61215, IEC 61730, UL 61730

ISO 9001:2015: ISO Quality Management System

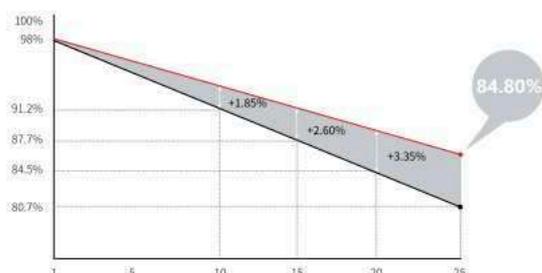
ISO 14001: 2015: ISO Environment Management System

TS62941: Guideline for module design qualification and type approval

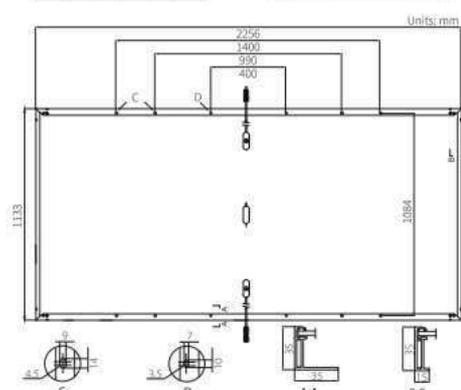
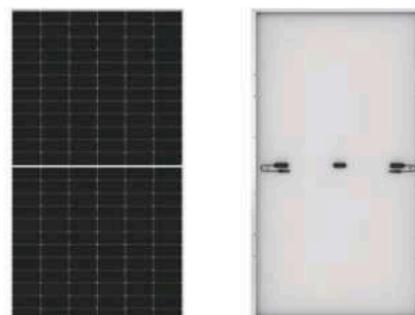
ISO 45001: 2018: Occupational Health and Safety

LONGI



Hi-MO 5m**LR5-72HPH 530~550M****21.5%**
MAX MODULE
EFFICIENCY**0~+5W**
POWER
TOLERANCE**<2%**
FIRST YEAR
POWER DEGRADATION**0.55%**
YEAR 2-25
POWER DEGRADATION**HALF-CELL**
Lower operating temperature**Additional Value****25-Year Power Warranty****Mechanical Parameters**

Cell Orientation	144 (6×24)
Junction Box	IP68, three diodes
Output Cable	4mm ² , +400, -200mm/±1400mm length can be customized
Glass	Single glass, 3.2mm coated tempered glass
Frame	Anodized aluminum alloy frame
Weight	27.2kg
Dimension	2256×1133×35mm
Packaging	31pcs per pallet / 155pcs per 20' GP / 620pcs per 40' HC



Electrical Characteristics	STC : AM1.5 1000W/m ² 25°C				NOCT : AM1.5 800W/m ² 20°C 1m/s				Test uncertainty for Pmax: ±3%			
	LR5-72HPH-530M		LR5-72HPH-535M		LR5-72HPH-540M		LR5-72HPH-545M		LR5-72HPH-550M			
Testing Condition	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT		
Maximum Power (Pmax/W)	530	530	535	399.5	540	403.3	545	407.0	550	410.7		
Open Circuit Voltage (Voc/V)	49.20	49.20	49.35	46.26	49.50	46.41	49.65	46.55	49.80	46.69		
Short Circuit Current (Isc/A)	13.71	13.71	13.78	11.15	13.85	11.20	13.92	11.25	13.98	11.31		
Voltage at Maximum Power (Vmp/V)	41.35	41.35	41.50	38.64	41.65	38.78	41.80	38.92	41.95	39.06		
Current at Maximum Power (Imp/A)	12.82	12.82	12.90	10.34	12.97	10.40	13.04	10.46	13.12	10.52		
Module Efficiency(%)	20.7		20.9		21.1		21.3		21.5			

Operating Parameters

Operational Temperature	-40°C ~ +85°C
Power Output Tolerance	0 ~ +5 W
Voc and Isc Tolerance	±3%
Maximum System Voltage	DC1500V (IEC/UL)
Maximum Series Fuse Rating	25A
Nominal Operating Cell Temperature	45±2°C
Protection Class	Class II
Fire Rating	UL type 1 or 2

Mechanical Loading

Front Side Maximum Static Loading	5400Pa
Rear Side Maximum Static Loading	2400Pa
Hailstone Test	25mm Hailstone at the speed of 23m/s

Temperature Ratings (STC)

Temperature Coefficient of Isc	+0.048%/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.270%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.350%/°C

LONGI

No.8369 Shangyuan Road, Xi'an Economic And
Technological Development Zone, Xi'an, Shaanxi, China.
Web: en.longi-solar.com

Specifications included in this datasheet
are subject to change without notice.
LONGI reserves the right of final
interpretation. (20210508V13)

ANEXO B - FOLHA DE DADOS DO INVERSOR HUAWEI SUN2000-36KTL-M3

SUN2000-30/36/40KTL-M3 Inversor FV Inteligente



Inteligente

Monitoramento de até 8 Strings



Eficiente

Eficiência Máxima de 98,7%



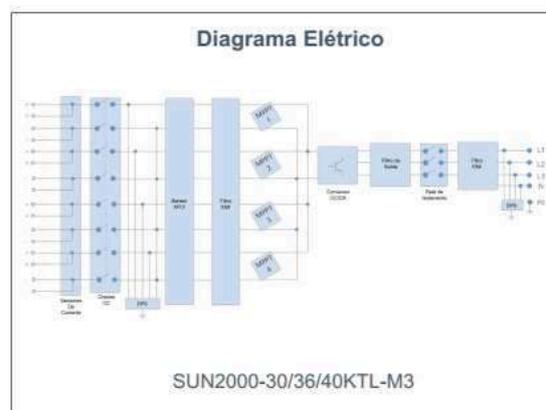
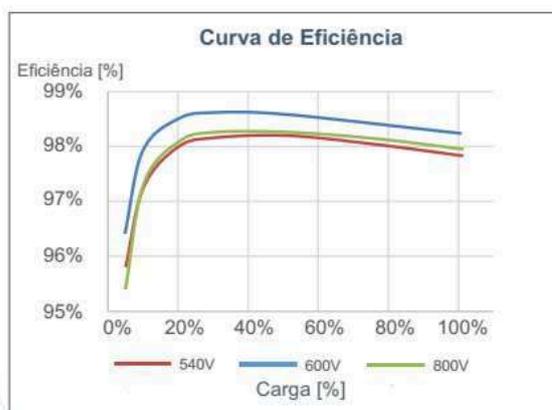
Seguro

Design sem Fusível



Confiável

Proteção Contra Surtos CC/CA



SUN2000-30/36/40KTL-M3
Especificações Técnicas

Especificação Técnica	SUN2000 30KTL-M3	SUN2000 36KTL-M3	SUN2000 40KTL-M3
Eficiência			
Eficiência Máxima		98,7%	
Eficiência Europeia		98,4%	
Entrada			
Tensão Máxima de Entrada ¹		1,1 kV	
Corrente Máxima por MPPT		26 A	
Corrente de Curto-Circuito por MPPT		40 A	
Tensão de Partida		200 V	
Tensão Operacional do MPPT ²		200 V ~ 1000 V	
Tensão Nominal de Entrada		600 V	
Nº de Rastreadores MPPT		4	
Nº de Entradas por MPPT		2	
Saída			
Potência Nominal de Saída	30,0 kW	36,0 kW	40,0 kW
Potência Aparente Máxima	33,0 kVA	40,0 kVA	44,0 kVA
Tensão de Saída		230 / 400 / 480 Vca, 3W + N + PE	
Frequência		50 / 60 Hz	
Corrente Nominal de Saída	43,3 A	52,0 A	57,8 A
Corrente Máxima de Saída	47,9 A	58,0 A	63,8 A
Faixa Ajustável do Fator de Potência		0,8 adiantado ... 0,8 atrasado	
Distorção Harmônica Máxima		< 3%	
Proteção e Recursos			
Chave Seccionadora CC		Sim	
Proteção Anti-Ilhamento		Sim	
Proteção de Sobrecorrente CA		Sim	
Proteção de Polaridade Reversa CC		Sim	
Monitoramento de Falhas por String		Sim	
Dispositivo de Prot. Contra Surtos CC		Sim, Classe II	
Dispositivo de Prot. Contra Surtos CA		Sim, Classe II	
Monitoramento do Isolamento CC		Sim	
Monitoramento de Corrente Residual		Sim	
Proteção Contra Arcos-Elétricos (AFCI)		Sim	
Controle de Ripple		Sim	
Função de Recuperação PID ³		Sim	
Comunicação			
Visor		Indicadores LED, WLAN + FusionSolar APP integrado	
RS485		Sim	
Smart Dongle		WLAN/Ethernet via Smart Dongle-WLAN-FE (Opcional)	
MBUS		4G / 3G / 2G via Smart Dongle-4G (Opcional) Sim (Necessário Transformador Isolador)	
Informações Gerais			
Dimensões (com suporte de fixação)		640mm * 530mm * 270 mm (L * A * P)	
Peso (com suporte de fixação)		43 kg	
Temperatura Operacional		-25 ~ + 60 °C	
Método de Resfriamento		Convecção Natural	
Altitude Máxima Operacional		4000 m (Perda de rendimento acima de 2000 m)	
Umidade Relativa Operacional		0% ~ 100%	
Conectores CC		Staubli MC4	
Conectores CA		Conector a prova d'água + Terminal OT/DT	
Grau de Proteção		IP66	
Topologia		Sem Transformador	
Consumo Noturno		≤ 5,5W	
Compatibilidade com Otimizadores			
Comunicação via MBUS		SUN2000-450W-P, SUN2000-600W-P	
Adequação as Normas			
Segurança		EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, EN 50530, IEC 62116, IEC 60068, IEC 61683	
Normas de Conexão à Rede		IEC 61727, VDE-AR-N4105, VDE 0126-1-1, BDEW, G59/3, UTE C 15-712-1, CEI 0-16, CEI 0-21, RD 661, RD 1699, P.O. 12.3, RD 413, EN-50438-Turkey, EN-50438-Ireland, C10/11, MEA, Resolution No.7, NRS 097-2-1, AS/NZS 4777.2, DEWA	

¹ A tensão máxima de entrada é o limite superior da faixa de operação CC.

² Qualquer tensão de entrada superior ao limite estabelecido, poderá resultar em mau funcionamento ou mesmo danos permanentes ao inversor.

³ O inversor aumenta a tensão de referência do módulo PV por meio da função de recuperação PID. Os tipos de módulos suportados incluem: tipo P (mono, poli).