



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

LUÍZA RAMOS ORLANDI

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E FINANCEIRA PARA IMPLANTAÇÃO
DE UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA DE MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA
COM POTÊNCIA INSTALADA DE 1 MW.**

Uberlândia

2022

LUÍZA RAMOS ORLANDI

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E FINANCEIRA PARA IMPLANTAÇÃO
DE UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA DE MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA
COM POTÊNCIA INSTALADA DE 1 MW.**

Trabalho de Conclusão de Curso da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Brito de Lima

Assinatura do Orientador

Uberlândia

2022

LUÍZA RAMOS ORLANDI

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E FINANCEIRA PARA IMPLANTAÇÃO
DE UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA DE MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA
COM POTÊNCIA INSTALADA DE 1 MW.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Uberlândia, 10 de março de 2022

Banca Examinadora:

Vitor Fonseca Barbosa

Antônio Costa Neto

Dedico este trabalho à minha mãe, Lucimar
por acreditar no meu sonho e me apoiar em
cada passo da minha trajetória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Gustavo Brito de Lima pela compreensão e paciência em detrimento dos imprevistos ocorridos durante a execução deste trabalho no contexto da pandemia da Covid-19.

Agradeço também meus colegas de curso pelo companheirismo em muitas tardes e noites de estudos que foram fundamentais para a conclusão desta etapa.

“A conquista é um acaso que talvez dependa mais das falhas dos vencidos do que do gênio do vencedor.”

(STAËL, Anne Louise Germaine)

RESUMO

O constante aumento das fontes de energias renováveis na composição da matriz energética brasileira faz com que a geração de energia solar ganhe cada vez mais atenção e destaque devido aos seus diversos benefícios ambientais e econômicos. Além disso, o Brasil possui grande vantagem devido ao seu grande potencial energético decorrente dos níveis de incidência solar no país quando comparado a outras nações líderes na geração deste tipo de energia.

Desta forma, este documento apresentará uma análise de viabilidade técnica e econômica de um sistema fotovoltaico de 1 MW conectado à rede na cidade de Ivinhema, Mato Grosso do Sul.

Este trabalho tem por objetivo mostrar o quão atrativo financeiramente pode ser o investimento em uma usina solar fotovoltaica de grande porte visando adesão ao Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE).

Palavras-chave: Energia Solar, Geração Distribuída, Viabilidade Econômica, Minigeração.

ABSTRACT

The continuous increasing of renewable energy sources on the Brazilian energy grid gives solar energy more and more attention and emphasis due to its several environmental and economic benefits. Furthermore, Brazil has an advantage due to its great energetic potential due to the solar incidence on the country when compared to other leading nations in the generations of this kind of energy.

Thus, this document will present a technical and economic analysis of a 1MW photovoltaic system connected on grid in Ivinhema, Mato Grosso do Sul.

This study aims to show how financially attractive the investment in a great solar power plant can be aiming at joining the Electric Energy Compensation System (EECS).

Keywords: Solar Energy, Distributed Generation, Economic Viability, Minigeneration.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 1 -	Matriz Energética Mundial em 2019.....	12
Gráfico 2 -	Matriz Energética Brasileira em 2020.....	13
Gráfico 3 -	Composição da Tarifa de Energia Elétrica.....	14
Figura 1 -	Diagrama: Tipos de Geração de Energia Renovável.....	19
Figura 2 -	Processo para homologação de um sistema de microgeração distribuída..	22
Figura 3 -	Processo para homologação de um sistema de minigeração distribuída....	23
Figura 4 -	Local de Implantação da Usina.....	24
Figura 5 -	Gráfico de degradação do módulo TSM-DE17M(II).....	26
Figura 6 -	Dimensões do módulo fotovoltaico TSM-DE17M(II).....	26
Figura 7 -	Desenho 3D do Skid.....	29
Figura 8 -	Diagrama Unifilar do Skid.....	29
Figura 9 -	Diagrama Unifilar da Cabine de Medição.....	31
Figura 10 -	Cabine de Medição Montada.....	31
Figura 11 -	Diagrama Unifilar da parte fotovoltaica.....	32
Figura 12 -	Figura 12 – Modelagem 3D da UFV no PVSyst.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Resumo de especificações técnicas do módulo TSM-DE17M(II).....	25
Tabela 2 -	Especificações Técnicas do inversor Solis-110K-5G.....	27
Tabela 3 -	Especificações Técnicas do inversor Solis-60K-4G.....	28
Tabela 4 -	Especificações Técnicas do Transformador.....	30
Tabela 5 -	Arranjo Fotovoltaico.....	32
Tabela 6 -	Dados de Geração Simulados.....	34
Tabela 7 -	Composição da Tarifa B3 na Energisa MS de 2021.....	34
Tabela 8 -	Composição da Tarifa B3 Compensada.....	35
Tabela 9 -	Payback.....	36
Tabela 10 -	Resumo Econômico do Sistema.....	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
UFV	Central Geradora Fotovoltaica
SCEE	Sistema de Compensação de Energia Elétrica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito
GD	Geração Distribuída
HP	Hora Ponta
HFP	Hora Fora Ponta
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
PRORET	Procedimentos de Regulação Tarifária
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
NBR	Norma Brasileira
REN	Regulamento Normativo
RN	Resolução Normativa
IPCA	Índice de Preço ao Consumidor Amplo
TIR	Taxa Interna de Retorno
VPL	Valor Presente Líquido
LCOE	Custo Nivelado de Energia
W	Watt
V	Volts
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt-hora
kWh/mês	Quilowatt-hora por mês
kWh/ano	Quilowatt-hora por ano
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
TUSDg	Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição aplicável às Centrais Geradoras
TE	Tarifa de Energia
EMUC	Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras
UC	Unidade Consumidora
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica

TK	Turn-key
CC	Corrente Contínua
CA	Corrente Alternada
IGBT	Transistor Bipolar de Porta Isolada
ICGT	Portão Integrado Controlado
MOSFET	Transistor de efeito de Campo Metal
O&M	Operação e Manutenção
MT	Média Tensão
BT	Baixa Tensão
Capex	Despesas de Capitais
Opex	Despesas Operacionais

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	SISTEMA TARIFÁRIO DE ENERGIA DO BRASIL	14
2.1	Composição da Tarifa de Energia.....	14
2.1.1	Parcela A.....	14
2.1.2	Parcela B.....	15
2.1.3	Tributos.....	15
2.2	Modalidades Tarifárias	15
2.2.1	Grupo A	15
2.2.2	Grupo B	16
2.3	Postos Tarifários	16
2.4	Bandeiras Tarifárias.....	17
2.4.1	Bandeira Verde	17
2.4.2	Bandeira Amarela	17
2.4.3	Bandeira Vermelha – Patamar 1	17
2.4.4	Bandeira Vermelha – Patamar 2	18
3	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	18
3.1	Conceitos.....	18
3.2	Sistema de Compensação de Energia Elétrica	19
3.3	Modalidades	20
3.3.1	Geração junto à carga	20
3.3.2	Autoconsumo Remoto	20
3.3.3	Geração Compartilhada	20
3.3.4	Empreendimento de Múltiplas Unidades Consumidoras (EMUC).	20
3.4	Homologação.....	21
4	ESTUDO DE CASO	23
4.1	Escopo do Projeto	23
4.2	Análise da Área	23
4.3	Equipamentos utilizados	24
4.3.1	Módulos	24
4.3.2	Inversores.....	27
4.3.3	Skid.....	28
4.3.4	Cabine de Medição	30

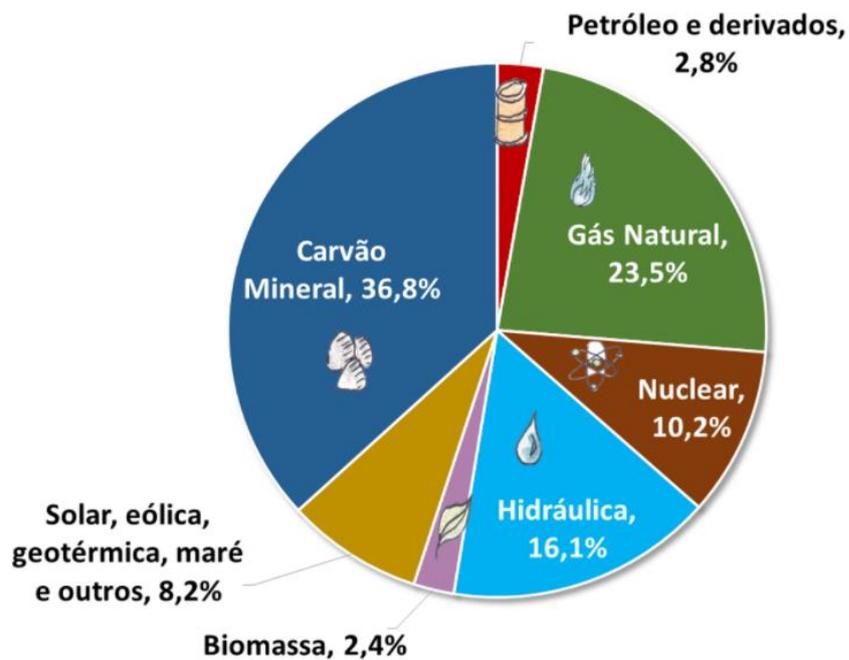
4.4	Diagrama Unifilar – Arranjos FV	31
4.5	Análise de Geração	32
4.5.1	Análise Computacional – PVsyst	32
5	ANÁLISE ECONÔMICA	34
5.1	Premissas Adotadas	34
5.2	Payback	35
5.3	VPL	36
5.4	TIR	37
5.5	LCOE	37
5.6	Economia 1º ano x Economia real	37
6	CONCLUSÃO	38
7	REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

A matriz energética de um território representa o conjunto com diferentes tipos de fontes de energia utilizadas para suprir a demanda energética local.

Ainda hoje, a matriz energética mundial é composta predominantemente por fontes não renováveis, como representado no Gráfico 1.

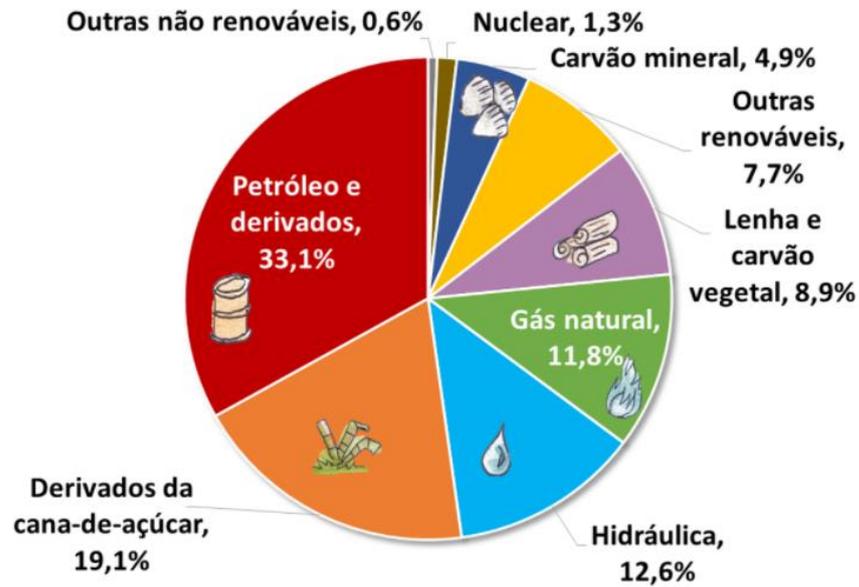
Gráfico 1 – Matriz Energética Mundial em 2019.



Fonte: IEA (2021)

Na contramão do panorama mundial, a parcela de fontes renováveis de energia suprimindo a demanda do país chega a quase 50% de sua matriz energética [1], conforme apresentado no gráfico 2.

Gráfico 2 – Matriz Energética Brasileira em 2020



Fonte: BEN (2021)

Tal distribuição de fonte de energia é extremamente vantajosa, uma vez que a utilização de fontes não renováveis de energia tem sido o catalizador da degradação do meio ambiente através da emissão de gases de efeito estufa, por exemplo, que causam mudanças climáticas.

Ainda que represente uma parcela muito pequena na matriz energética do país, cerca de 2%, a energia solar teve crescimento acelerado nos últimos 3 anos com uma taxa de de 200% para usinas solares centralizadas, 2.000% para pequenas UFV's conectadas à rede e crescimento em capacidade instalada de cerca de 66% [1].

Tal crescimento foi fomentado por vários fatores: a Resolução Normativa REN 482 de 2012 definiu as regras do mercado e popularizou a tecnologia, ao passo que linhas de financiamento flexíveis e específicas para energia solar foram sendo criadas em um momento em que o país passava por uma crise hídrica que encareceu o preço da energia elétrica.

A inflação energética foi e ainda é um dos maiores propulsores da energia solar no Brasil, principalmente na Geração Distribuída. Segundo uma projeção feita pela ANEEL e divulgada em novembro de 2021, estima-se um impacto tarifário médio em 2022 de aproximadamente 21,04% [2].

Visando se preservar do aumento das tarifas de energia, dentre as demais fontes renováveis para geração da própria energia, a energia solar se torna um investimento interessante, uma vez que é o sol é uma fonte de energia gratuita e os equipamentos para conversão desta energia possuem longa durabilidade, cerca de 25 a 30 anos.

Diante do exposto, será feito um estudo de caso da análise de viabilidade técnico-econômica de uma usina de 1 MW na modalidade de minigeração distribuída, enquadrada em autoconsumo remoto no Sistema de Compensação de Energia Elétrica, a fim de mostrar a forma de estudo e também o retorno deste investimento.

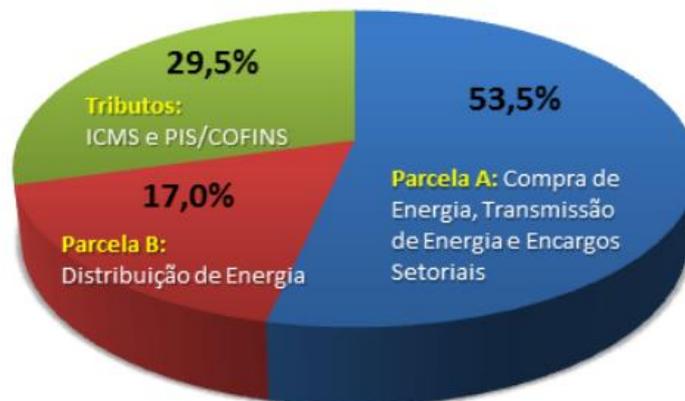
2 SISTEMA TARIFÁRIO DE ENERGIA DO BRASIL

2.1 Composição da Tarifa de Energia

Atualmente, a tarifa de energia elétrica repassada ao consumidor final é composta pelos custos com a aquisição da energia elétrica, custos relativos ao uso do sistema de transmissão e ao de distribuição, encargos setoriais e tributação.

Para fins de cálculo tarifário, estes custos podem ser agrupados de forma a haver três bases para a composição da tarifa, conforme ilustrado no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Composição da Tarifa de Energia Elétrica



Fonte: [3]

2.1.1 Parcela A.

O modelo de negócio das distribuidoras de energia se dá através do aluguel do fio que distribui a energia e não da comercialização da energia em si, uma vez que o valor da compra de energia realizada em leilões públicos é repassado a preço de custo ao cliente.

O valor repassado referente ao custo da transmissão da é regulado pela ANEEL para que a tarifa seja composta por custos eficientes em vista dos serviços prestados.

Já os encargos do setor são definidos por lei e destinam-se a subsídios a segmentos específicos de consumo via descontos tarifários, incentivos a segmentos específicos da cadeia do setor elétrico e cobertura de custos e despesas setoriais comuns aos agentes.

2.1.2 Parcela B.

Os custos de distribuição de energia são referentes aos serviços prestados pela distribuidora para manter a infraestrutura elétrica que distribui a energia e operar todo o sistema.

2.1.3 Tributos

Os tributos, assim como os encargos setoriais, são instituídos por lei e não pela ANEEL. Alguns incidem apenas sobre a parcela B enquanto outros estão atrelados também aos custos da Parcela A.

2.2 Modalidades Tarifárias

Modalidades tarifárias são os conjuntos de tarifas aplicáveis sobre o consumo e demanda de energia elétrica aplicadas de acordo com o grupo tarifário ao qual o consumidor está enquadrado de acordo com a REN 414/2010 e também no módulo 7 do PRORET.

2.2.1 Grupo A

São os consumidores atendidos em média ou alta tensão. Estes consumidores podem optar pelo mercado cativo ou mercado livre para a compra de energia. Caso optem pelo mercado cativo, são obrigados a contratar demanda e pagam pelo consumo de energia ativa e reativa (fatura binômica) e podem pagar demanda ultrapassada caso consumam mais do que contrataram.

Podem ser divididos em subgrupos [5]. Estes são:

- A1: tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV;
- A2: tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV;
- A3: tensão de fornecimento de 69 kV;
- A3a: tensão de fornecimento de 30 kV a 44 kV;
- A4: tensão de fornecimento de 2,3kV a 24 kV;

- AS: tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV em sistema subterrâneo de distribuição.

Para os consumidores grupo A, pode ser aplicada a tarifa horária azul ou verde.

- Horo Sazonal Azul: tarifa de consumo de energia e de demanda de potência de acordo com os postos tarifários. Disponível para todos os subgrupos.
- Horo Sazonal Verde: tarifa de consumo de energia de acordo com os postos tarifários e de uma única tarifa de demanda de potência. Disponível apenas para os subgrupos A3a, A4 e AS.

2.2.2 Grupo B

São os consumidores atendidos em baixa tensão em ramais monofásicos, bifásicos ou trifásicos. Estes consumidores devem necessariamente aderir ao mercado cativo e pagam o custo de disponibilidade ao invés da demanda contratada e somente o consumo de energia ativa (fatura monômnia).

Podem ser divididos nos seguintes subgrupos:

- B1: residencial e residencial de baixa renda;
- B2: classe rural e cooperativas de eletrificação rural e serviço público de irrigação;
- B3: industrial, comercial, serviços, poder público, serviço público etc;
- B4: Iluminação pública.

Para estes consumidores, estão disponíveis duas opções tarifárias:

- Convencional Monômnia: tarifa única sobre o consumo de energia independentemente do horário de utilização;
- Horária Branca: tarifa sobre o consumo de energia de acordo com os postos tarifários. Indisponível para os subgrupos B4, e B1 baixa renda.

2.3 Postos Tarifários

São definições necessárias à aplicação das modalidades tarifárias e diferentes para os grupos A e B. Para o primeiro, aplicam-se os postos hora ponta e fora ponta, ao passo que para o segundo grupo, na aplicação da tarifa branca, utilizam-se os mesmos pontos adicionado do horário intermediário.

- Hora Ponta: intervalo diário de três horas, geralmente de 18:00 às 21:00, exceto por sábado, domingos e feriados. Neste intervalo, que pode variar de acordo com a distribuidora, a tarifa de energia e demanda possuem um valor mais alto em comparação aos demais horários do dia.
- Horário Intermediário: horas conjugadas ao posto hora ponta. Varia entre 1h e 1h30 antes e depois do horário de ponta.
- Hora Fora Ponta: intervalos diários compreendidos pelas horas complementares ao horário de ponta definido. Geralmente, os intervalos se dão de 00:00 às 17:59 e das 21:00 as 23:59.

2.4 Bandeiras Tarifárias

Visando cobrir os custos das distribuidoras quando é necessário comprar a energia por um valor mais alto, foram criadas as bandeiras tarifárias. Isso acontece quando as fontes geradores de energia usualmente utilizadas não estão gerando energia suficiente e é necessário comprar energia proveniente de outras fontes.

Numa crise hídrica em época de seca, por exemplo, as usinas hidrelétricas geram menos energia e as distribuidoras são obrigadas a comprar energia de usinas térmicas, por exemplo, onde a energia é mais cara, pois tem um custo de produção também mais elevado.

Assim, este aumento é repassado ao cliente através da aplicação das bandeiras nas faturas da energia, que variam com as condições de produção de energia no país naquele momento.

2.4.1 Bandeira Verde

Nesta bandeira, a tarifa não sofre nenhum acréscimo, o que indica que as condições de geração de energia estão favoráveis.

2.4.2 Bandeira Amarela

É aplicada quando há uma queda na produção de energia elétrica. A tarifa recebe um acréscimo de R\$ 0,01874 por cada kWh consumido. [6]

2.4.3 Bandeira Vermelha – Patamar 1

Maior queda na produção de energia. A tarifa recebe um acréscimo de R\$ 0,0942 para cada kWh consumido. [6]

2.4.4 Bandeira Vermelha – Patamar 2

Maior queda na produção de energia e maior custo de geração. A tarifa é acrescida em R\$ 0,09492 para cada kWh consumido. [6]

3 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

3.1 Conceitos

Geração Distribuída é o nome dado à modalidade de geração de energia elétrica descentralizada, caracterizada pela proximidade do ponto de geração com os consumidores desta energia, sendo válida para diferentes fontes de energia renovável, como solar, eólica e hídrica.

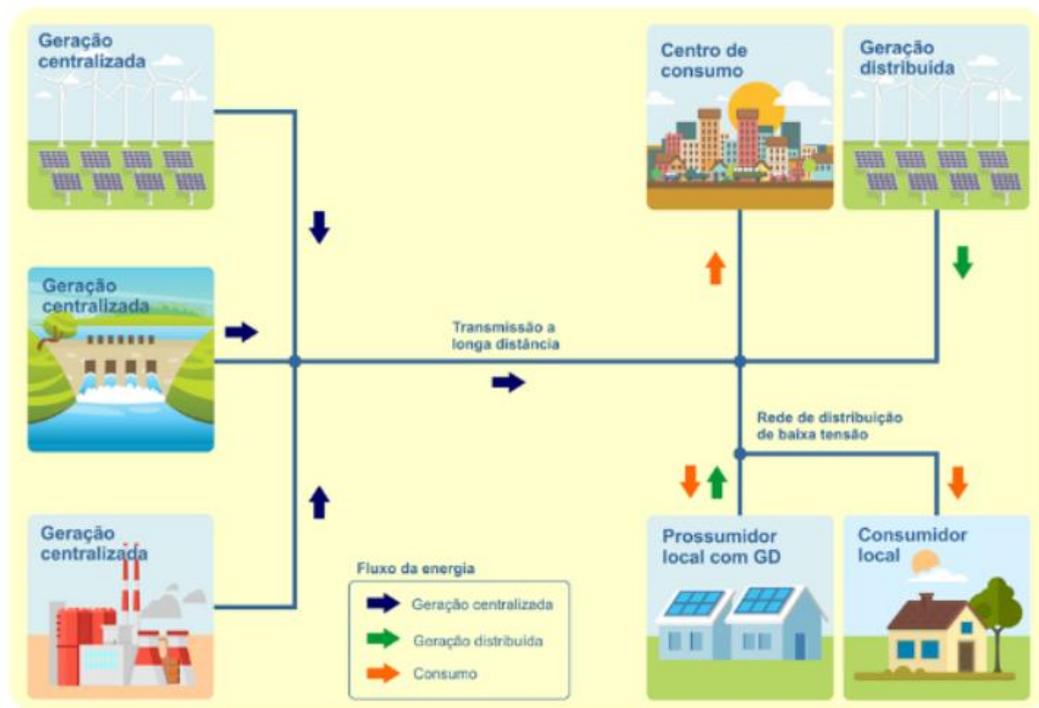
A princípio, no Brasil, a definição de geração distribuída foi feita pelo Artigo 14 do Decreto-Lei nº. 5.163 de 2004 que diz: “Considera-se geração distribuída a produção de energia elétrica proveniente de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aquela proveniente de: I – Hidrelétrico com capacidade instalada superior a 30 MW; e II – Termelétrico, inclusive de cogeração, com eficiência energética inferior a 75%.”

Entretanto, em 2012 foi publicada a Resolução Normativa nº. 482 que estabeleceu alguns critérios para inserção da geração na matriz energética brasileira:

- Microgeração Distribuída: sistema de geração de energia renovável ou cogeração qualificada conectados à rede com potência menor ou igual a 75 kW;
- Minigeração Distribuída: sistemas de geração de energia renovável ou cogeração conectados à rede com potência superior a 75 kW e inferior a 5 MW.

O fluxograma ilustrado na Figura abaixo esclarece as diferenças sobre a Geração Distribuída e Geração compartilhada quanto ao seu local de geração.

Figura 1 – Diagrama: Tipos de Geração de Energia Renovável.



Fonte: [7]

Além disso, REN n.º 482 definiu os direitos à utilização de créditos por excedente de energia gerada e a estruturação de novos modelos de negócio além da geração junto à carga, como o autoconsumo remoto, geração compartilhada e EMUC.

3.2 Sistema de Compensação de Energia Elétrica

O SCEE é definido pela Resolução Normativa n.º 482/2012 como o um arranjo onde a energia gerada e não consumida em um local pode ser injetada à rede, se transformando em créditos de energia que podem ser compensados em outro posto tarifário ou nas faturas seguintes ou até em outras unidades consumidoras, desde que atendam aos critérios da modalidade a qual está enquadrada.

Os créditos de energia gerado podem se acumular para que sejam utilizados dentro de um prazo de sessenta meses (cinco anos). Entretanto, no grupo B estes créditos só podem ser utilizados para abater o consumo em kWh, pois a disponibilidade ainda deve ser paga, isto é, não é possível abater 100% do valor da conta de energia. Analogamente, no grupo A a contratação de demanda ainda deve ser paga independentemente dos créditos compensados. [8]

3.3 Modalidades

Há três tipos de modalidades de geração que os consumidores podem se enquadrar ao aderir ao Sistema de Compensação de Energia Elétrica.

3.3.1 Geração junto à carga

É a primeira e mais simples modalidade da GD: o consumidor gera e consome a energia carga no mesmo local e a UC geradora é a única que poderá usufruir dos créditos de energia excedente gerados.

3.3.2 Autoconsumo Remoto

Essa modalidade se aplica ao cliente que possui a geração em um local, mas também possui outras unidades consumidoras em sua titularidade as quais deseja compensar os créditos de energia produzidos pela sua UC geradora.

Todas as unidades precisam estar cadastradas sobre o mesmo CPF ou CNPJ e a compensação só acontece entre as unidades da mesma distribuidora de energia.

3.3.3 Geração Compartilhada

Nesta modalidade é possível a união de dois ou mais consumidores por meio de cooperativa (pessoa física) ou consórcio (pessoa jurídica) para compartilhamento da energia gerada por uma única UC geradora.

Este modelo de negócio tem sido visto nas denominadas fazendas solares, nas quais vários consumidores constroem uma UFV e compartilham os custos de instalação. Ainda, é bem comum que investidores não participantes da cooperativa e/ou consórcio construam a usina e aluguem cotas desta usina que correspondem a um percentual da energia gerada pela mesma.

3.3.4 Empreendimento de Múltiplas Unidades Consumidoras (EMUC).

O EMUC, assim como a geração compartilhada, é composto por vários consumidores, porém que se situam no mesmo local e consomem a energia elétrica de forma independente e este consumo também é medido individualmente.

Essa modalidade é usualmente utilizada por condomínios, shoppings, prédios comerciais e afins.

3.4 Homologação

Para adesão ao SCEE, é necessário que seja feita a homologação do projeto na distribuidora de energia local. Com a homologação, a distribuidora consegue fiscalizar o sistema solar instalado, garantindo que este esteja especificado de acordo com as normas estabelecidas, oferecendo segurança tanto ao operador da rede e ao consumidor, que espera que o sistema tenha durabilidade de 25 a 30 anos.

Para realizar a homologação, é feito o processo de Solicitação de Acesso. Neste processo, o solicitante titular da UC geradora junto a um profissional habilitado, solicitam à distribuidora local a permissão para conectar seu sistema à rede. Uma série de documentos serão enviados à distribuidora para que esta possa avaliar a regularidade do sistema segundo as normas, o impacto da conexão deste sistema à rede e determinar se será necessária alguma obra de adequação na rede para que a mesma possa suportar nova injeção de potência.

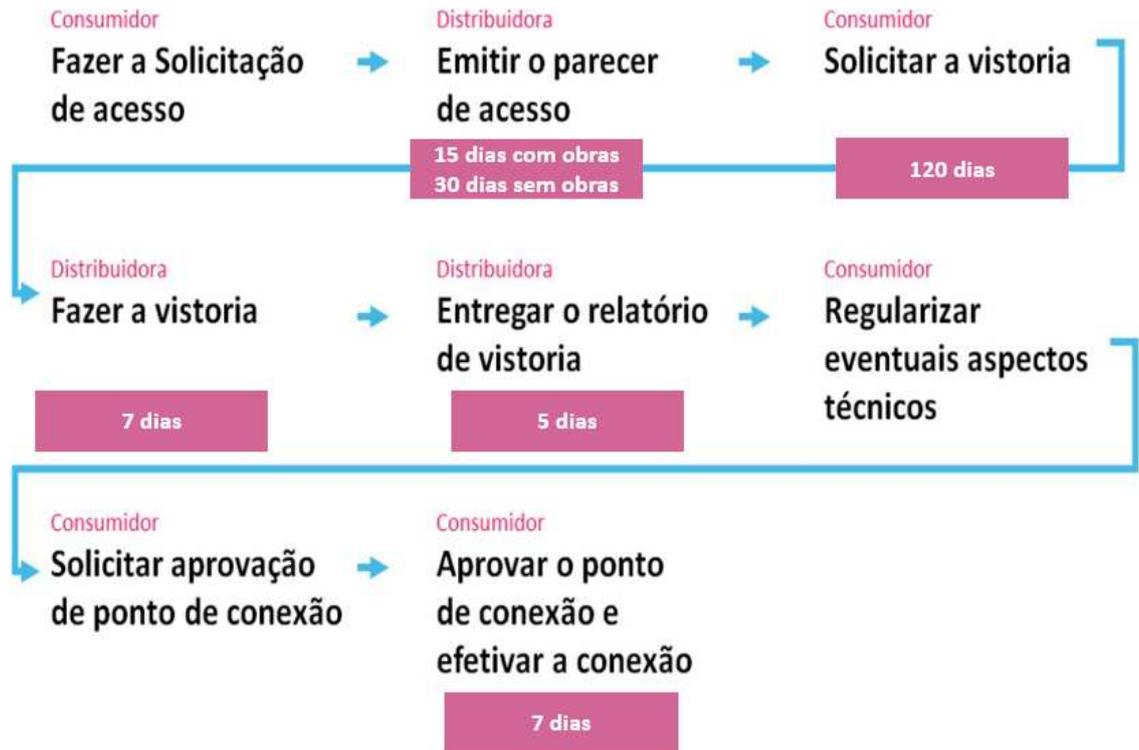
Ainda que algumas concessionárias exijam documentações adicionais, via de regra, as documentações exigidas são:

- Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) do profissional responsável pelo projeto elétrico e pela instalação do sistema;
- Documento do titular da UC;
- Documento comprobatório de posse da área (quando nova UC);
- Formulários de Solicitação de Acesso padronizados pela distribuidora;
- Memorial Descritivo;
- Certificado de conformidade dos inversores ou número de registro da concessão do Inmetro;
- Lista de consumidores participantes do sistema de compensação;
- Diagrama Unifilar Básico;
- Coordenadas Geográficas;
- Planta de situação;
- Projeto da cabine primária de medição (apenas minigeração).

O fluxo deste processo, bem como seus prazos, são definidos pela ANEEL e variam de microgeração para minigeração, conforme Figuras 2 e 3. Para a microgeração, os prazos são

menores devido a baixa complexidade do projeto e do menor impacto da conexão do sistema à rede.

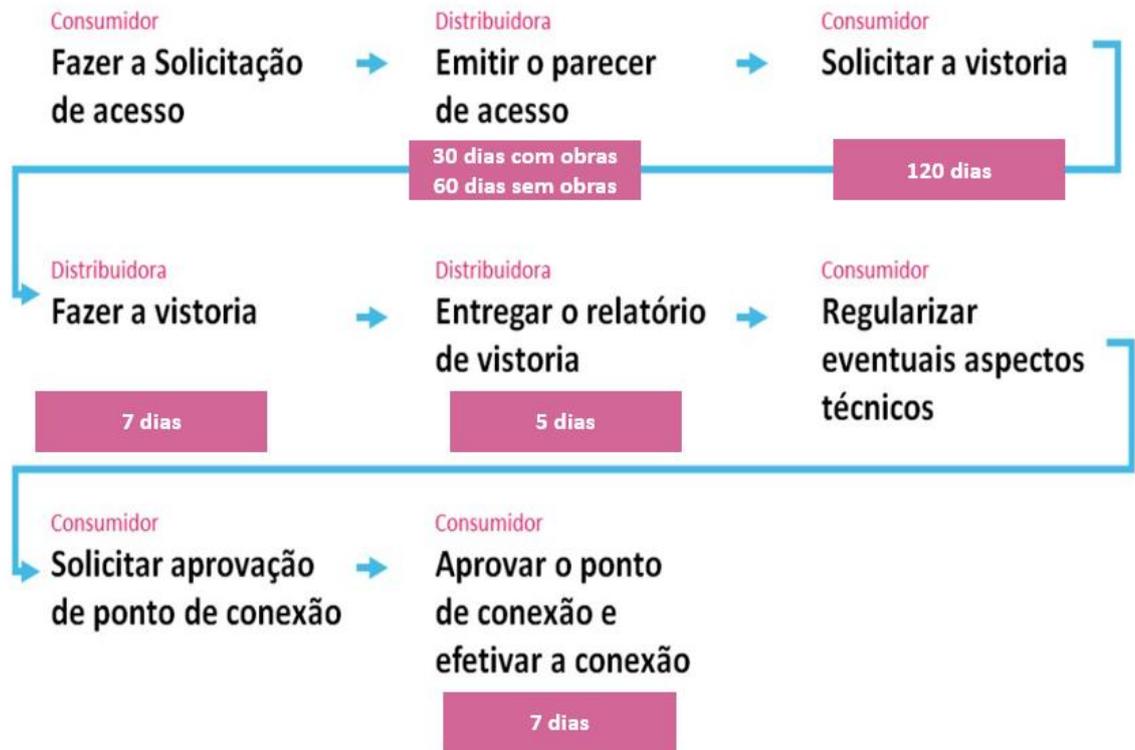
Figura 2 – Processo para homologação de um sistema de microgeração distribuída



Fonte: Adaptado de [9]

Já para a minigeração, o estudo do impacto da conexão do sistema à rede é um pouco mais complexo, visto que este é conectado na rede primária de distribuição, o que implica em maiores prazos.

Figura 3 – Processo para homologação de um sistema de minigeração distribuída



Fonte: Adaptado de [9]

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Escopo do Projeto

O projeto em questão trata-se de uma venda *turn-key*, isto é, a empresa executora é responsável por todo o processo de implantação da usina do início ao fim, desde a parte de análise de viabilidade, projeto, compras, implantação e homologação.

O cliente em questão possui uma área de 20.000 m² e desejava construir uma usina fotovoltaica de minigeração distribuída em solo que cobrisse toda área. Se trata de uma área rural e não há consumo local, ou seja, a usina foi enquadrada na modalidade de autoconsumo remoto.

Este cliente visava distribuir os créditos de energia igualmente em outras unidades de baixa tensão com Tarifa Comercial B3 e análise financeira

4.2 Análise da Área

A área para a construção da usina, dentre outros terrenos que o cliente possuía, foi escolhido devido à proximidade (500 metros) da SE Ivinhema I (230/138 kV), pois caso fosse necessário a construção de nova rede para conexão, o valor não seria tão elevado.

Após essa análise, foi feita a delimitação da área onde a usina seria construída, exemplificada pela ranhura na Figura 4.

Figura 4 – Local de Implantação da Usina



Fonte: Google Earth, 2021.

Uma vez definida a área, foi feita a roçagem e terraplanagem do terreno para que os estudos de solo (resistividade, drenagem e afins) pudessem ser realizados.

4.3 Equipamentos utilizados

4.3.1 Módulos

Os módulos fotovoltaicos é um dos principais equipamentos na composição de uma planta solar fotovoltaica. É composto por células fabricadas a partir de semicondutores de silício que absorvem a luz proveniente do sol que, através do efeito fotovoltaico, produzem energia.

Os módulos escolhidos para utilização nessa usina foram escolhidos após várias cotações para obter custo-benefício.

Foi escolhido o módulo da Trina Solar, modelo Trina Solar TSM-DE17M(II) de 450 Wp, cuja ficha de especificações técnicas se encontra no Anexo A e algumas destas especificações estão resumidas na Tabela 1.

Tabela 1 – Resumo de especificações técnicas do módulo TSM-DE17M(II)

ELECTRICAL DATA (STC)

Peak Power Watts- P_{MAX} (Wp)*	435	440	445	450	455	460
Power Tolerance- P_{MAX} (W)	0 ~ +5					
Maximum Power Voltage- V_{MPP} (V)	40.5	40.7	40.8	41.0	41.2	41.3
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)	10.74	10.82	10.90	10.98	11.06	11.13
Open Circuit Voltage- V_{OC} (V)	49.0	49.2	49.4	49.6	49.8	50.0
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	11.31	11.39	11.46	11.53	11.61	11.68
Module Efficiency η_m (%)	19.9	20.1	20.4	20.6	20.8	21.0

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5.
*Measuring tolerance: $\pm 3\%$.

ELECTRICAL DATA (NOCT)

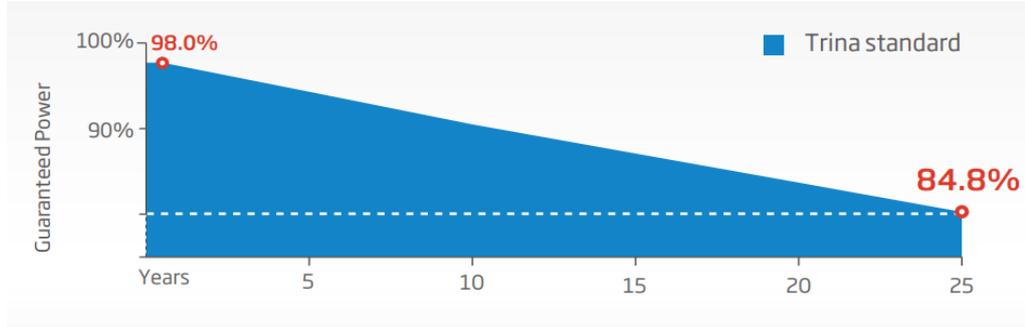
Maximum Power- P_{MAX} (Wp)	328	332	336	340	344	347
Maximum Power Voltage- V_{MPP} (V)	38.2	38.4	38.5	38.7	38.9	39.1
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)	8.60	8.66	8.71	8.77	8.84	8.89
Open Circuit Voltage- V_{OC} (V)	46.1	46.3	46.5	46.6	46.8	47.0
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	9.11	9.18	9.24	9.29	9.36	9.41

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

Fonte: [10]

Neste tipo de análise, uma informação nas fichas técnicas quase sempre negligenciada, porém de extrema importância é o gráfico de degradação do módulo, mostrado na Figura 5. Visto que esses sistemas são construídos para durar de 25 a 30 anos, conforme garantia do fabricante, na análise de *payback* de um investimento deste porte deve ser considerado a degradação do módulo e conseqüente perda de geração do sistema.

Figura 5 – Gráfico de degradação do módulo TSM-DE17M(II)

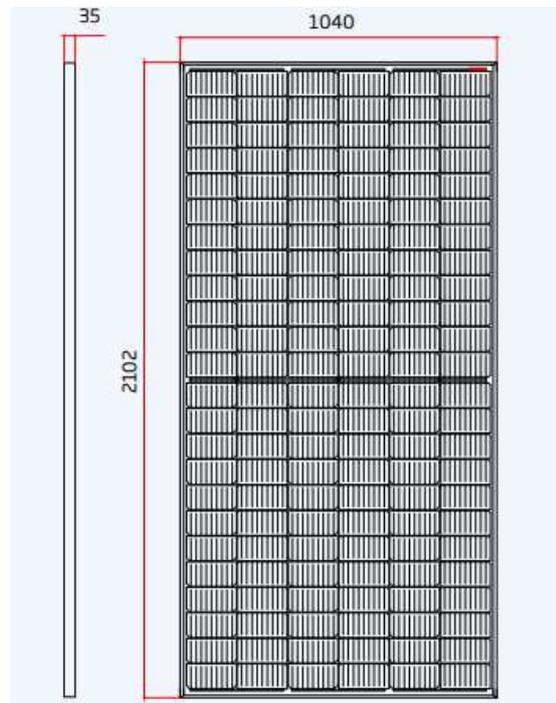


Fonte: [10]

Segundo informado pelo próprio fabricante, há uma queda de 2% na potência de geração no primeiro ano de operação do módulo e depois disso uma queda linear de 13,2% ao longo dos próximos 24 anos, o que implica em uma queda de aproximadamente 0,55% que será considerada para os cálculos de retorno financeiro.

Uma vez definido o módulo e sabendo seu tamanho exato, foi possível saber quantos caberiam na área disponível para que o sistema fosse dimensionado. Sabendo que os módulos possuem as dimensões (em milímetros) indicadas na Figura 6, foi possível alocar 2.670 módulos, totalizando assim, 1201,5 kWp.

Figura 6 – Dimensões do módulo fotovoltaico TSM-DE17M(II)



Fonte: [10]

4.3.2 Inversores

O inversor é o equipamento conversor eletrônico controlado que converte a corrente elétrica contínua (CC) gerada pelos módulos fotovoltaicos e a converte em corrente elétrica alternada (CA). Além da conversão, o inversor é responsável por garantir a segurança do sistema, otimizar a produção de energia e monitorar a geração.

Essa conversão é feita, basicamente através de chaves eletrônicas (do tipo IGBT, IGCT, MOSFET etc.) que fazem o processo de chaveamento da tensão contínua de entrada para entregar uma tensão de saída com a amplitude e frequência desejadas.

Os inversores escolhidos foram 8 unidades da marca Solis de potência nominal igual a 110 kW e 2 unidades também da Marca Solis de potência nominal igual a 60 kW, modelos Solis-110K-5G e Solis-60K-4G, respectivamente, totalizando a potência de 1.000 kW.

As informações técnicas de ambos os inversores podem ser encontradas no Anexo B e C e as especificações mais importantes nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Especificações Técnicas do inversor Solis-110K-5G

Modelo	Solis-100K-5G	Solis-110K-5G
Entrada CC		
Potência máxima de entrada recomendada	150 kW	165 kW
Tensão máx de entrada		1100 V
Tensão nominal		600 V
Tensão de partida		195 V
Intervalo de tensão MPPT		180-1000 V
Corrente máx de entrada		10*26 A
Corrente máx. do conector de entrada		13 A
Corrente máx de curto-circuito		10*40 A
MPPTs / Número de Entradas		10/20
Saída CA		
Potência nominal de saída	100 kW	110 kW
Potência máx de saída aparente	110 kVA	121 kVA
Potência máx de saída	110 kW	121 kW
Tensão nominal da rede		3/N/PE, 220 V / 380 V
Frequência nominal da rede		50 Hz / 60 Hz
Corrente nominal de saída da rede	152.0 A	167.1 A
Corrente máx de saída	167.1 A	183.8 A
Fator de potência		> 0,99 (0,8 inicial - 0,8 atrasado)
Harmônicas (THDi)		<3%

Fonte: [11]

Tabela 3 – Especificações Técnicas do inversor Solis-60K-4G

Modelo	Solis-50K	Solis-50K-HV	Solis-60K-HV	Solis-60K-4G
Entrada CC				
Potência máxima de entrada recomendada	75 kW	75 kW	90 kW	90 kW
Tensão máx de entrada	1100 V			
Tensão nominal	600 V	720 V	720 V	600 V
Tensão de partida	200V			
Intervalo de tensão MPPT	200-1000 V			
Corrente máx de entrada ⁽¹⁾	4*28.5 A	4*22 A	4*28.5 A	
Corrente máx. do conector de entrada	9.5 A	11 A	9.5 A	
Corrente máx de curto-circuito	4*44.5 A	4*34.3A	4*44.5 A	
MPPTs / Número de Entradas	4/12	4/8	4/12	
Saída CA				
Potência nominal de saída	50 kW		60 kW	
Potência máx de saída aparente	55 kVA		66 kVA	
Potência máx de saída	55 kW		66 kW	
Tensão nominal da rede	3/N/PE, 220 V / 380 V, 230V / 400 V	3/PE, 480V		3/N/PE, 220 V / 380 V, 230V / 400 V
Frequência nominal da rede	50 Hz / 60 Hz			
Corrente nominal de saída da rede	72.2 A / 76 A	60.2 A	72.2 A	86.6 A / 91.2 A
Corrente máx de saída	83.3 A	66.2 A	80 A	100 A
Fator de potência	> 0,99 (0,8 inicial - 0,8 atrasado)			
Harmônicas (THDi)	<3%			

Fonte: [11]

Tanto os inversores de 110 kW quanto os de 60kW possuem tensão de saída 380/220V, o que permitiu que fossem ligados no mesmo barramento na BT do transformador elevador de 380 V para 13.800 V.

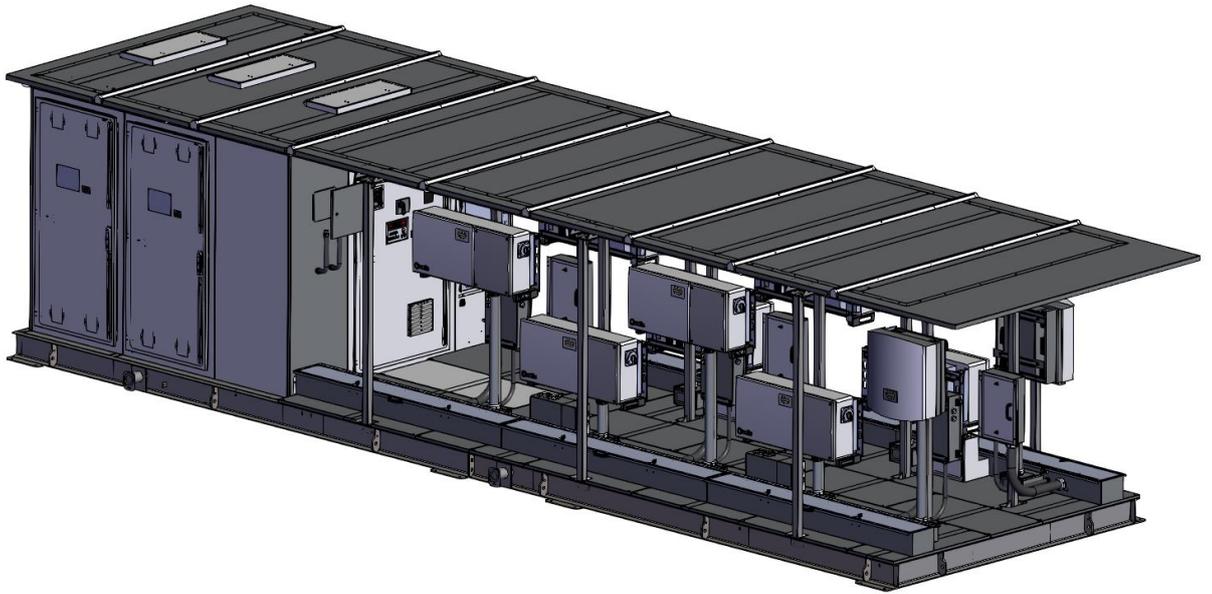
4.3.3 Skid

Quanto à forma de instalação dos inversores, optou-se pela utilização do skid visando centralizar a operação manual da usina, facilitando o trabalho de O&M futuro.

O Skid foi comprado sob medida e entregue pronto com todo os componentes (barramentos, disjuntores, chaves etc) pela fornecedora, faltando apenas a montagem dos inversores e passagem de cabos *in loco*.

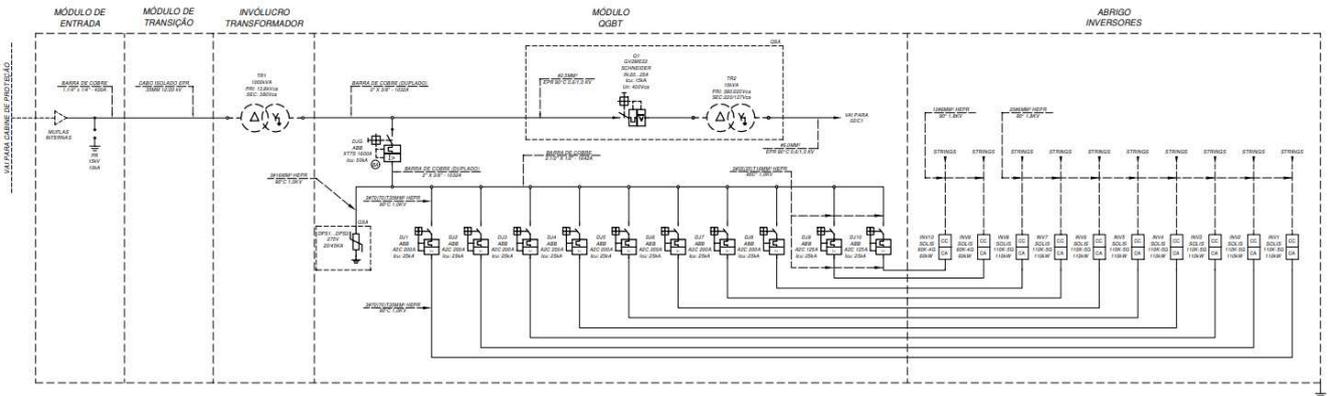
Neste projeto, optou-se por acoplar o transformador de de 0,38/13,8 kV no último módulo do skid, conforme desenho em 3D da Figura 7 e parte do diagrama unifilar da Figura 9.

Figura 7 – Desenho 3D do Skid.



Fonte: Romagnole

Figura 8 – Diagrama Unifilar do Skid



Fonte: Autora

O transformador também já veio montado junto ao skid, uma vez que é da mesma fabricante da estrutura em questão. Suas especificações técnicas podem ser vistas em detalhes no Anexo D e suas informações básicas na Tabela 4.

Tabela 4 – Especificações Técnicas do Transformador

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS				
4	POTÊNCIA :	1000	kVA	AN
	FATOR K1			
5	GRAU DE PROTEÇÃO	IP - 00	sem Gabinete	
6	FREQUÊNCIA:	60	Hz	
7	TENSÕES NOMINAIS			
	Primário	13800	V	Expedição em 13800
	Derivações:	14490/14145/13800/13455/13110 V		
	Secundário:	380	/	220 V
8	NÍVEIS DE ISOLAMENTO			
	Primário:	15	kV	34/95 kV (TA/NBI)
	Secundário:	1,1	kV	3/- kV (TA/NBI)
9	LIGAÇÕES			
	Primário:	Triângulo		
	Secundário:	Estrela com neutro acessível		
	Grupo de Ligação:	Dyn1		

Fonte: Romagnole

4.3.4 Cabine de Medição

A cabine de medição, impreterivelmente, deve ser feita de acordo com as normas e exigências da concessionária local, neste caso, a NDU 002 da distribuidora Energisa Mato Grosso do Sul.

Assim, a cabine foi montada no esquema do Diagrama Unifilar da Figura 9 e o resultado final pós execução está representado na Figura 10.

Figura 9 – Diagrama Unifilar da Cabine de Medição

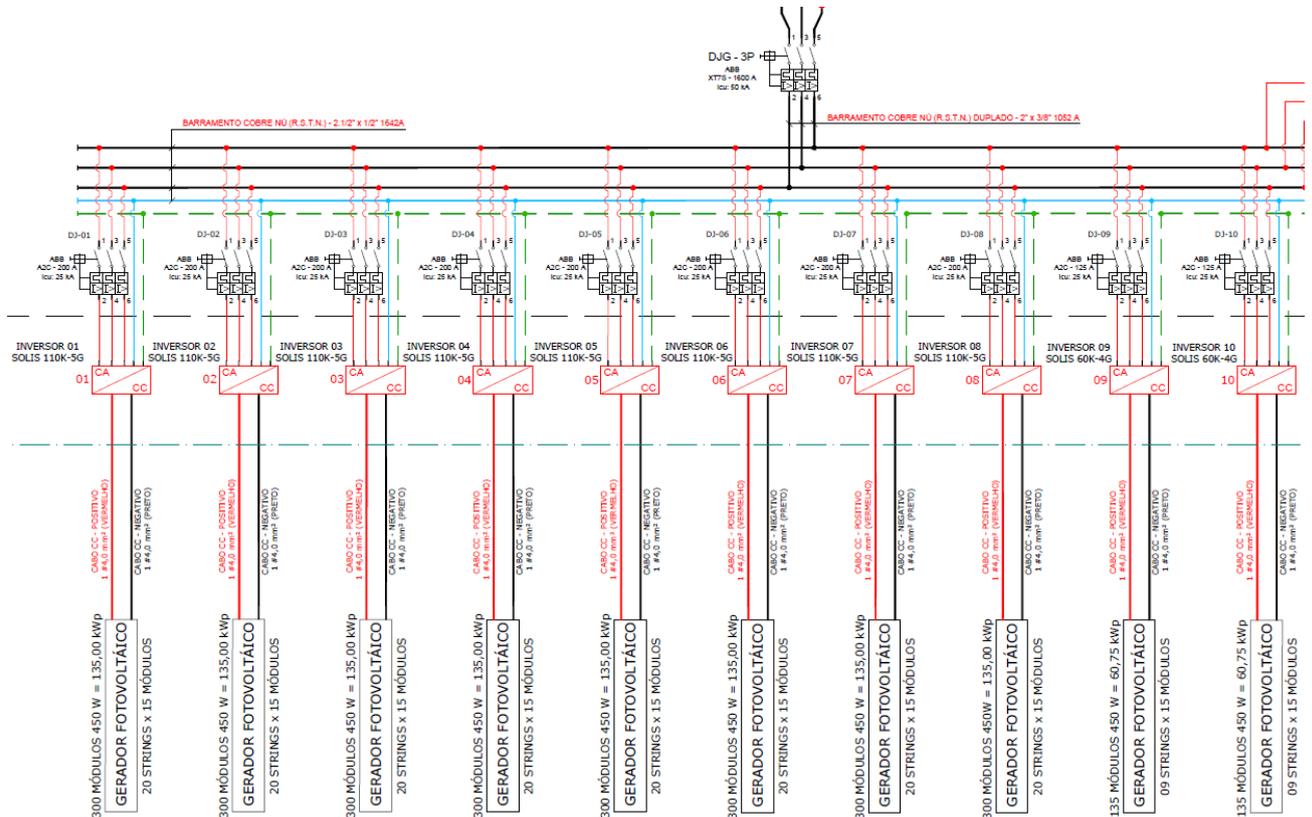
mostrados na Tabela 5 também e definidas as bitolas dos cabos de corrente alternada, conforme diagrama unifilar da parte fotovoltaica mostrada na Figura 11.

Tabela 5 – Arranjo Fotovoltaico

TRAFOS	INVERSORES		MÓDULOS		MESAS		POTÊNCIA CA (kW)	POTÊNCIA CC (kWp)	
	QUANTIDADE	POTÊNCIA (kW)	Nº DE STRINGS	QUANTIDADE	POTÊNCIA (Wp)	QUANTIDADE			MÓDULOS
TE1	7	110	28 str de 15 módulos	420	450	14	30	770	189
			112 str de 15 módulos	1680		28	60		756
	1	110	20 str de 15 módulos	300		5	60	110	135
	1	60	09 str de 15 módulos	135		2	60	60	60,75
			02 str de 15 módulos	30		1	30		13,5
		07 str de 15 módulos	105			2	60	47,25	
TOTAL	10			2670		52	60	1000	1201,5

Fonte: Autora

Figura 11 – Diagrama Unifilar da parte fotovoltaica



Fonte: Autora

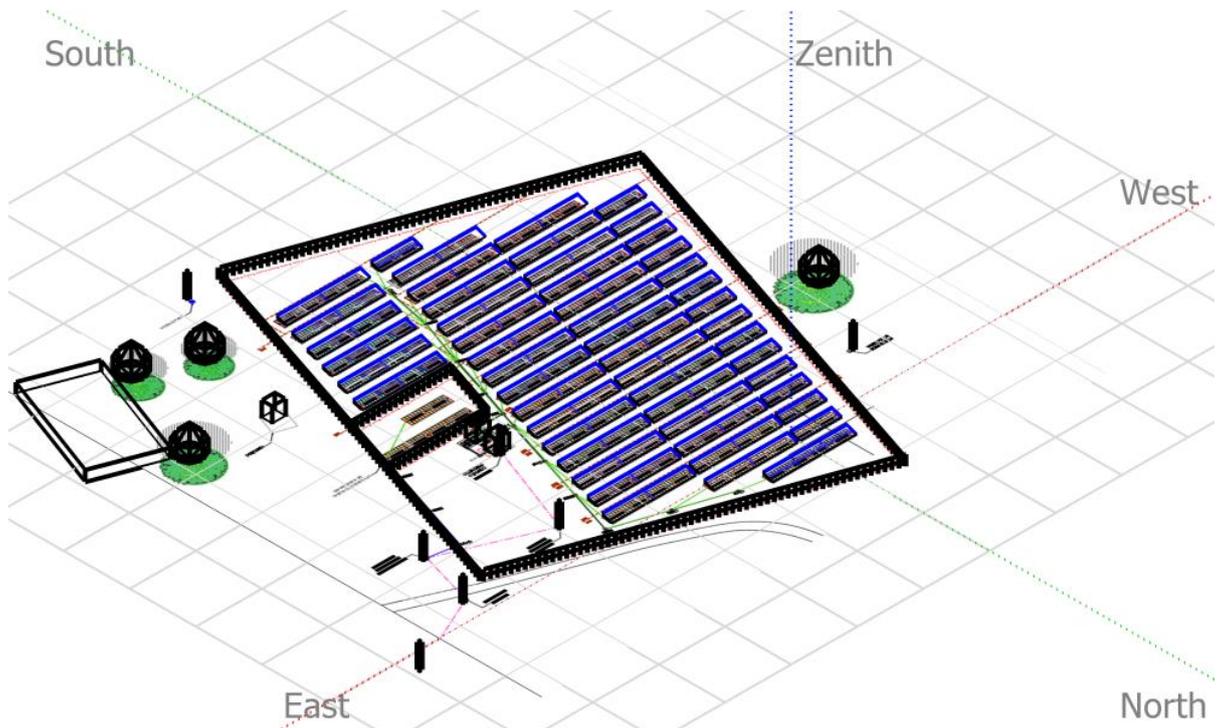
4.5 Análise de Geração

4.5.1 Análise Computacional – PVsyst

Para estimativa de geração da usina, a usina foi simulada através do software PVSyst que atualmente é considerado o software mais completo e preciso do mercado. O software consegue fornecer as perdas por sombreamento, sujeita e considera os equipamentos utilizados para calcular as perdas elétricas.

Foi feita a modelagem 3D no software conforme Figura 12 e inserido os dados de bitola de cabos, especificações dos equipamentos para que o cálculo computacional pudesse ser feito.

Figura 12 – Modelagem 3D da UFV no PVSyst



Fonte: Autora

Foram obtidos os resultados de geração contidos na Tabela 6.

Tabela 6 – Dados de Geração Simulados

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR ratio
January	181.8	74.74	26.00	170.9	163.2	173.4	165.1	0.804
February	162.4	64.48	25.80	159.3	152.2	161.4	153.9	0.804
March	167.0	61.35	25.40	176.7	169.3	179.9	171.8	0.809
April	138.4	48.84	23.70	159.0	152.4	163.2	155.7	0.815
May	115.7	43.49	20.10	140.8	134.9	146.9	139.5	0.825
June	101.3	37.41	19.40	128.3	122.9	134.8	127.9	0.830
July	110.4	40.49	19.40	138.4	132.6	144.4	137.2	0.825
August	140.1	44.64	21.10	167.3	160.5	174.1	166.2	0.827
September	142.9	52.56	22.20	156.2	149.8	161.5	154.0	0.821
October	169.0	64.20	24.70	171.4	164.2	175.4	167.3	0.813
November	179.8	68.97	24.90	170.4	162.8	173.0	164.8	0.805
December	199.2	76.51	25.89	182.9	174.8	185.9	177.3	0.807
Year	1807.9	677.68	23.20	1921.6	1839.7	1973.9	1880.7	0.815

Fonte: PVSyst

Assim, espera-se que a usina gere uma média de 1.880,7 MWh anualmente. Entretanto, para efeitos de cálculo de viabilidade técnica, considerou-se o pior caso com uma geração de 1.739,16 MWh/ano.

5 ANÁLISE ECONÔMICA

5.1 Premissas Adotadas

- Geração no primeiro ano de 1.739,16 MWh;
- Custos com O&M equivalente a 1% do Capex (investimento inicial);
- Tarifa das UCs a serem compensadas (Comercial B3) de R\$ 0,69365:

Tabela 7 – Composição da Tarifa B3 na Energisa MS de 2021

Tarifa B3		
COMERCIAL		
TUSD	R\$	0,4231
TE	R\$	0,2705
TARIFA FINAL	R\$	0,69365

Fonte: Autora

- Vida útil da UFV de 25 anos;
- Degradação linear do módulo após o primeiro ano de 0,55%;

- Tarifa compensada igual a R\$

Tabela 8 – Composição da Tarifa B3 Compensada

Tarifa Comercial B3	R\$
TUSD	0,423
TE	0,271
ICMS	17,0%
PIS/COFINS	5,89%
ICMS aplicado sobre a TUSD	0,093
TARIFA COMPENSADA	0,806

Fonte: Autora

No estado do Mato Grosso do Sul, não é possível compensar 100% da tarifa de energia, pois há o desconto de incidência de ICMS sobre a TUSD.

- Retrofit dos Inversores no décimo segundo ano de operação igual a 4% do Capex;
- Tarifa da UC geradora A4 Verde FP;
- Demanda contratada de 1.000 kVA a R\$ 32,46/kW;
- Tarifa TUSDg a R\$ 16,83/kW;
- Inflação anual adotada pelo banco central de 4%;
- Aumento da energia ao ano de 8,04 (média dos últimos 5 anos);
- Aumento da energia acima da inflação:

$$8,04\% - 4\% = 4,04\%$$
- Investimento Inicial de R\$ 5.113.736,50.

5.2 Payback

Na tabela 9 é apresentado o payback e o fluxo de caixa dos 25 anos considerados. Verificou-se que o payback é de 4,26 anos, isto é, no quinto ano, toda a economia de energia será lucro do investidor.

Tabela 9 – Payback

IPCA Projetado	Delta Tarifário	Ano	Geração de Energia (kWh)	Perda Acumulada (%)	Produção Anual (kWh)	Tarifa Compensada (R\$/kWh)	Economia de Energia (R\$)	O&M (R\$)	Demanda (R\$)	Fluxo de Investimento	Retorno (R\$)	Fluxo de Caixa Acumulado	Payback Simples
		0											4,28
		1	1.739.162	2,00%	1.704.379	0,806	1.374.197,05	-51.137,37	-389.519,44	-5.113.736,50	-4.180.196,25	-4.180.196,25	1,00
10,06%	0,00%	2	1.739.162	2,55%	1.694.814	0,887	1.503.953,09	-56.281,78	-428.705,10	0	1.018.966,21	-3.161.230,05	1,00
4,00%	4,04%	3	1.739.162	3,10%	1.685.248	0,959	1.615.700,27	-58.533,06	-240.191,19	0	1.316.976,03	-1.844.254,01	1,00
4,00%	4,04%	4	1.739.162	3,65%	1.675.683	1,036	1.735.694,62	-60.874,38	-259.502,56	0	1.415.317,68	-428.936,33	1,00
4,00%	4,04%	5	1.739.162	4,20%	1.666.118	1,119	1.864.539,90	-63.309,35	-280.366,56	0	1.520.863,99	1.091.927,65	0,28
4,00%	4,04%	6	1.739.162	4,75%	1.656.552	1,209	2.002.883,70	-65.841,73	-302.908,03	0	1.634.133,94	2.726.061,60	0,00
4,00%	4,04%	7	1.739.162	5,30%	1.646.987	1,306	2.151.420,50	-68.475,40	-327.261,84	0	1.755.683,27	4.481.744,86	0,00
4,00%	4,04%	8	1.739.162	5,85%	1.637.421	1,411	2.310.895,06	-71.214,41	-353.573,69	0	1.888.106,95	6.367.851,81	0,00
4,00%	4,04%	9	1.739.162	6,40%	1.627.856	1,525	2.482.106,00	-74.062,99	-382.001,02	0	2.026.041,99	8.393.893,80	0,00
4,00%	4,04%	10	1.739.162	6,95%	1.618.291	1,647	2.665.909,86	-77.025,51	-412.713,90	0	2.176.170,25	10.570.064,05	0,00
4,00%	4,04%	11	1.739.162	7,50%	1.608.725	1,780	2.863.224,22	-80.106,53	-445.896,10	0	2.337.221,59	12.907.285,65	0,00
4,00%	4,04%	12	1.739.162	8,05%	1.599.160	1,923	3.075.034,09	-83.310,79	-481.746,14	-204.549,46	2.305.427,70	15.212.713,35	0,00
4,00%	4,04%	13	1.739.162	8,60%	1.589.594	2,078	3.302.394,65	-86.643,22	-520.478,53	0	2.695.272,90	17.907.986,25	0,00
4,00%	4,04%	14	1.739.162	9,15%	1.580.029	2,245	3.546.437,28	-90.108,95	-562.325,01	0	2.894.003,33	20.801.989,57	0,00
4,00%	4,04%	15	1.739.162	9,70%	1.570.464	2,425	3.808.374,76	-93.713,31	-607.535,94	0	3.107.125,52	23.909.115,09	0,00
4,00%	4,04%	16	1.739.162	10,25%	1.560.898	2,620	4.089.507,05	-97.461,84	-656.381,83	0	3.335.663,38	27.244.778,47	0,00
4,00%	4,04%	17	1.739.162	10,80%	1.551.333	2,831	4.391.227,46	-101.360,31	-709.154,93	0	3.580.712,22	30.825.490,69	0,00
4,00%	4,04%	18	1.739.162	11,35%	1.541.768	3,058	4.715.029,28	-105.414,73	-766.170,98	0	3.843.443,58	34.668.934,26	0,00
4,00%	4,04%	19	1.739.162	11,90%	1.532.202	3,304	5.062.512,85	-109.631,31	-827.771,13	0	4.125.110,40	38.794.044,67	0,00
4,00%	4,04%	20	1.739.162	12,45%	1.522.637	3,570	5.435.393,07	-114.016,57	-894.323,93	0	4.427.062,57	43.221.097,24	0,00
4,00%	4,04%	21	1.739.162	13,00%	1.513.071	3,857	5.835.507,53	-118.577,23	-966.227,57	0	4.750.702,73	47.971.799,97	0,00
4,00%	4,04%	22	1.739.162	13,55%	1.503.506	4,167	6.264.825,15	-123.320,32	-1.043.912,27	0	5.097.592,56	53.069.392,53	0,00
4,00%	4,04%	23	1.739.162	14,10%	1.493.941	4,502	6.725.455,38	-128.253,13	-1.127.842,81	0	5.469.359,44	58.538.751,96	0,00
4,00%	4,04%	24	1.739.162	14,65%	1.484.375	4,864	7.219.658,13	-133.383,26	-1.218.521,38	0	5.867.753,50	64.406.505,46	0,00
4,00%	4,04%	25	1.739.162	15,20%	1.474.810	5,255	7.749.854,26	-138.718,59	-1.318.490,49	0	6.294.645,18	70.701.150,63	0,00

Fonte: Autora

A geração de energia foi calculada considerando a irradiância da cidade de Ivinhema – Mato Grosso do Sul pelo mapa do CRECESB.

5.3 VPL

O Valor Presente Líquido é um indicador utilizado por investidores para realizar a análise de viabilidade de projetos de investimento. Com esse indicador, é possível fazer os ajustes de desconto de taxas de juros e obter assim, o real valor do dinheiro investido no futuro.

Para calcular o valor do VPL, usa-se a seguinte equação:

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FCn}{(1+i)^n} - Ii \quad (1)$$

Onde,

VPL = Valor Presente Líquido;

FC = Fluxo de Caixa;

n = período de tempo;

i = Taxa de desconto;

t = momento do fluxo de caixa.

Adotando como premissa a taxa de desconto igual a 8% e aplicando a fórmula a cada ano, o VPL de 25 anos seria igual a R\$ 19.558.624,23

5.4 TIR

A Taxa Interna de Retorno está diretamente relacionada ao VPL, pois é o que torna o fluxo de caixa igual a zero, isto é, o lucro líquido que pagaria o investimento inicial.

Este indicador é calculado isolando índice “i” da equação (1) de cálculo do VPL. Considera-se um bom investimento quando a TIR é maior que 3,95%.

Aplicando o cálculo no fluxo de caixa dos 25 anos, obtém-se o valor de 35,33%, um excelente indicativo do retorno deste investimento.

5.5 LCOE

O LCOE (Custo Nivelado da Energia) tem por objetivo representar o custo de kWh gerado por determinado investimento. É uma métrica de suma importância para comparar propostas de investimentos e conseguir mensurar qual solução oferece o melhor retorno.

É calculado da seguinte forma:

$$LCOE \left(\frac{R\$}{kWh} \right) == \frac{CAPEX+OPEX}{GERAÇÃO} \quad (3)$$

$$LCOE \left(\frac{R\$}{kWh} \right) = 0,19$$

5.6 Economia 1º ano x Economia real

É importante ressaltar que no cálculo da economia/retorno financeiro, deve-se considerar os custos que o investir terá com a operação da usina, com o O&M e a demanda contratada.

No primeiro ano, onde não há manutenção, a economia é calculada da seguinte forma:

$$Eco(R\$) = n^{\circ} \text{ módulos } x \text{ kWh por módulo } x \text{ taxa O\&M } x (1 - \text{perda performance})$$

** tarifa ponderada*

$$Eco(R\$) = 2670 * 54,28 * 2\% * (1 - 2\%) * 0,8063$$

$$Eco(R\$) = 2670 * 54,28 * 2\% * (1 - 2\%) * 0,8063$$

$$Eco(R\$) = R\$ 1.374.197,05$$

Já considerando os custos citados, tem-se a economia real calculada:

$$Eco\ real(R\$) = Eco(R\$) - Custo\ O\&M - Custo\ Demanda$$

$$Eco\ real(R\$) = \$ 1.374.197,05 - R\$ 51.137,37 - R\$ 389.519,44$$

$$Eco\ real(R\$) = 933.540,25$$

6 CONCLUSÃO

No projeto estudado, os resultados finais apresentados na Tabela 10 provam que o investimento foi assertivo e bastante vantajoso considerando o contexto econômico brasileiro de aumento constante na inflação e na tarifa de energia.

Tabela 10 – Resumo Econômico do Sistema

PREMISSAS			
Aumento de energia ano	8,04%	Demanda Adicional (kW)	1000
Custo de Oportunidade	8,0%	Custo do kW por mês	R\$ 32,46
Tarifa de energia	0,806	Custos com OeM	R\$ 51.137,37
UFV			
Potência do Sistema (kWp)	1201,5	Investimento	R\$ 5.113.736,50
Potência em Inversor (kW)	1000	Payback Simples (anos)	4,28
Economia 1º ano	R\$ 1.374.197,05	TIR (25 anos)	35,33%
Custo com demanda anual	R\$ 389.519,44	VPL (25 anos)	R\$ 19.558.624,23
Custo com OeM	R\$ 51.137,37	LCOE (R\$/kWh) - 25 anos	0,19
Economia Total	R\$ 933.540,25	Economia em 25 anos	R\$ 93.791.735,00

Fonte: Autora

Todas as análises foram feitas considerando premissas mais precisas e atualizadas possíveis, levando em conta fatores que geralmente são desconsiderados como, por exemplo, a degradação do módulo e a troca de inversores ao longo do ano.

Assim, conseguiu-se obter um valor real e preciso do retorno do investimento em questão, o que prova que mesmo com todas as perdas e custos de manutenção, ainda sim, a construção de uma usina solar fotovoltaica aderente ao sistema de compensação de energia elétrica é vantajoso.

Comparando este investimento com outros tipos de investimento com valores de retorno e tempo de payback similares, este se mostra mais seguro, considerando as garantias dos fabricantes e a execução com mão de obra especializada, seguindo todas as normas de projeto e execução.

Além disso, a questão ambiental não deve ser desconsiderada. Gerar a própria energia limpa e sustentável, contribuindo na diversificação da matriz energética brasileira é extremamente pertinente nos dias atuais.

7 REFERÊNCIAS

[1] Governo do Brasil - **Matriz Energética**. 2021. Disponível em <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/08/energia-renovavel-chega-a-quase-50-da-matriz-eletrica-brasileira-1>>. Acessado em 10 de dezembro de 2021.

[2] Portal Solar - **Dados do mercado de energia solar no Brasil**. 2021. Disponível em <<https://www.portalsolar.com.br/mercado-de-energia-solar-no-brasil.html>>. Acessado em 03 de dezembro de 2021.

[3] ANEEL - **Entendendo a Tarifa**. 2017. Disponível em <<https://www.aneel.gov.br/entendendo-a-tarifa/content/composicao-da-tarifa/entendendo-a-tarifa>>. Acessado em 11 de dezembro de 2021.

[4] CNI - **Encargos do Setor Elétrico**. Brasília, 2020. Disponível em <https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/be/b2/beb2917c-d4df-476f-b8fe-9d4c5a15268a/id_236527_encargos_do_setor_eletrico_web_1.pdf>. Acessado em 01/01/2022.

[5] ANEEL - Resolução Normativa nº 414, de 09 de setembro de 2010. Brasil,

[6] Ministério de Minas e Energia - **Saiba como funcionam as bandeiras tarifárias de energia elétrica**. 2021. Disponível em <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/saiba-como-funcionam-as-bandeiras-tarifarias-de-energia-eletrica>>. Acessado em 05 de dezembro de 2021.

[7] Canal Solar - **O que é geração distribuída de energia elétrica?** 2021. Disponível em <<https://canalsolar.com.br/o-que-e-geracao-distribuida-de-energia-eletrica/>>. Acessado em 15 de novembro de 2021.

[8] Focus Energia - **Como Funciona a Compensação de Energia Elétrica**. 2021. Disponível em <<https://www.focusenergia.com.br/como-funciona-a-compensacao-de-energia-eletrica/>>. Acessado em 04/01/2022.

[9] Enel Distribuição - **Geração Distribuída**. 2021. Disponível em <<https://www.eneldistribuicao.com.br/rj/GeracaoDistribuida.aspx>>. Acessado em 19 de dezembro de 2021.

[10] Trina Solar TSM-DE17M(II) - **Datasheet**. 2020. Brasil, 2021.

[11] Solis - **Datasheet Inversores Solis**. 2020. Brasil, 2021.

[12] Treasy - **Valor Presente Líquido**. 2020. Disponível em <<https://www.treasy.com.br/blog/valor-presente-liquido-vpl/>>. Acessado em 04 de fevereiro de 2022.

[13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16149: **Sistemas Fotovoltaicos (FV) – Características da Interface de Conexão com a Rede Elétrica de Distribuição**. Rio de Janeiro, 2013.

[14] PRODIST: Módulo 3 – **Acesso ao Sistema de Distribuição**. Revisão nº 6. 2016. Disponível em: . Acesso em 12 de setembro de 2021.

[15] CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA - CEPTEL - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito - CRESEB. Energia Solar - **Princípios e aplicação. Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica**, 2008.

ANEXO A – DATASHEET DO MÓDULO FOTOVOLTAICO TSM-DE17M(II)

Mono Multi Solutions

THE
TALLMAX^M
FRAMED 144 LAYOUT MODULE



<p>144 LAYOUT MONOCRYSTALLINE MODULE</p> <hr/> <p>435-460W POWER OUTPUT RANGE</p> <hr/> <p>21.0% MAXIMUM EFFICIENCY</p> <hr/> <p>0~+5W POSITIVE POWER TOLERANCE</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding: 5px;"> PRODUCTS TSM-DE17M(II) </td> <td style="padding: 5px;"> POWER RANGE 435-460W </td> </tr> </table>	PRODUCTS TSM-DE17M(II)	POWER RANGE 435-460W
PRODUCTS TSM-DE17M(II)	POWER RANGE 435-460W		

Founded in 1997, Trina Solar is the world's leading total solution provider for solar energy. With local presence around the globe, Trina Solar is able to provide exceptional service to each customer in each market and deliver our innovative, reliable products with the backing of Trina as a strong, bankable brand. Trina Solar now distributes its PV products to over 100 countries all over the world. We are committed to building strategic, mutually beneficial collaborations with installers, developers, distributors and other partners in driving smart energy together.

Comprehensive Products and System Certificates
 IEC61215/IEC61730/IEC61701/IEC62716
 ISO 9001: Quality Management System
 ISO 14001: Environmental Management System
 ISO14064: Greenhouse Gases Emissions Verification
 ISO45001: Occupational Health and Safety Management System









High power

- Up to 460W front power and 21.0% module efficiency with half-cut and MBB (Multi Busbar) technology bringing more BOS savings
- Lower resistance of half-cut and good reflection effect of MBB ensure high power

High reliability

- Ensured PID resistance through cell process and module material control
- Resistant to salt, acid and ammonia
- Mechanical performance: Up to 5400 Pa positive load and 2400 Pa negative load

High energy generation

- Excellent IAM and low light performance validated by 3rd party with cell process and module material optimization
- Better anti-shading performance and lower operating temperature

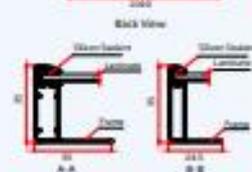
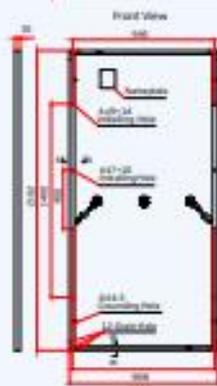
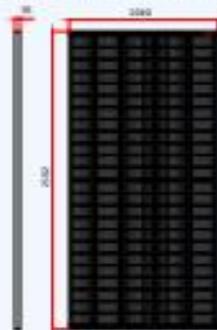
PERFORMANCE WARRANTY



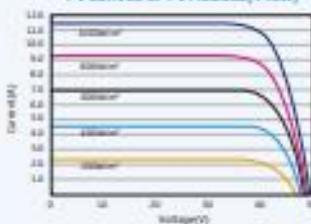
Year	Guaranteed Power (%)
0	98.0%
25	84.8%



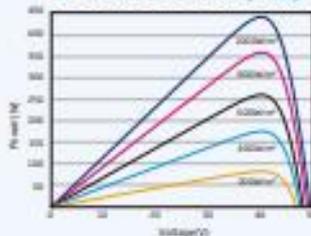
DIMENSIONS OF PV MODULE(mm)



I-V CURVES OF PV MODULE(445W)



P-V CURVES OF PV MODULE(445W)



ELECTRICAL DATA (STC)

Peak Power Watts- P_{max} (W) [*]	435	440	445	450	455	460
Power Tolerance- P_{max} (W)	0 ~ +5					
Maximum Power Voltage- V_{mp} (V)	40.5	40.7	40.8	41.0	41.2	41.3
Maximum Power Current- I_{mp} (A)	10.74	10.82	10.90	10.98	11.06	11.13
Open Circuit Voltage- V_{oc} (V)	49.0	49.2	49.4	49.6	49.8	50.0
Short Circuit Current- I_{sc} (A)	11.31	11.39	11.46	11.53	11.61	11.68
Module Efficiency η (%)	19.9	20.1	20.4	20.6	20.8	21.0

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5
*Measuring tolerance ±1%

ELECTRICAL DATA (NOCT)

Maximum Power- P_{max} (W)	328	332	336	340	344	347
Maximum Power Voltage- V_{mp} (V)	38.2	38.4	38.5	38.7	38.9	39.1
Maximum Power Current- I_{mp} (A)	8.60	8.66	8.71	8.77	8.84	8.89
Open Circuit Voltage- V_{oc} (V)	46.1	46.3	46.5	46.6	46.8	47.0
Short Circuit Current- I_{sc} (A)	9.11	9.18	9.24	9.29	9.35	9.41

NOCT: Irradiance at 800W/m², Ambient Temperature 25°C, Wind Speed 1m/s.

MECHANICAL DATA

Solar Cells	Monocrystalline
Cell Orientation	144 cells (6 × 24)
Module Dimensions	2102 × 1040 × 35 mm (82.76 × 40.94 × 1.38 inches)
Weight	24.0 kg (52.9lb)
Glass	3.2 mm (0.13 inches), High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant Material	EVA/PCE
Backsheet	White
Frame	35 mm (1.38 inches) Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP 68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm ² (0.006 inches ²), Portrait: N 280mm/P 280mm(11.02/11.02inches) Landscape: N 1400 mm /P 1400 mm (55.12/55.12 inches)
Connector	MC4 EVO2 / TS4*

*Please refer to regional datasheet for specified connector

TEMPERATURE RATINGS

NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)	43°C (±2°C)
Temperature Coefficient of P_{max}	-0.34%/°C
Temperature Coefficient of V_{oc}	-0.25%/°C
Temperature Coefficient of I_{sc}	0.04%/°C

(Do not connect fuse to Controller Box with two or more strings in parallel connection)

MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40 ~ +85°C
Maximum System Voltage	1500V DC (IEC)
Max Series Fuse Rating	20A

WARRANTY

12 year Product Workmanship Warranty
25 year Power Warranty
2% first year degradation
0.55% Annual Power Attenuation

(Please refer to product warranty for details)

PACKAGING CONFIGURATION

Modules per box: 31 pieces
Modules per 40' container: 962 pieces

ANEXO B – DATASHEET DO INVERSOR SOLIS-110K-5G



Folha de Dados

Modelo	Solis-100K-5G	Solis-110K-5G
Entrada CC		
Potência máxima de entrada recomendada	150 kW	165 kW
Tensão máx de entrada		1100 V
Tensão nominal		600 V
Tensão de partida		195 V
Intervalo de tensão MPPT		180-1000 V
Corrente máx de entrada		10*26 A
Corrente máx. do conector de entrada		13 A
Corrente máx de curto-circuito		10*40 A
MPPTs / Número de Entradas		10/20
Saída CA		
Potência nominal de saída	100 kW	110 kW
Potência máx de saída aparente	110 kVA	121 kVA
Potência máx de saída	110 kW	121 kW
Tensão nominal da rede		3/N/PE, 220 V / 380 V
Frequência nominal da rede		50 Hz / 60 Hz
Corrente nominal de saída da rede	152.0 A	167.1 A
Corrente máx de saída	167.1 A	183.8 A
Fator de potência		> 0,99 (0,8 inicial - 0,8 atrasado)
Harmônicas (THDi)		<3%
Eficiência		
Eficiência máxima		98.7%
Eficiência EU		98.3%
Eficiência MPPT		>99.5%
Eficiência		
Eficiência máxima		98.7%
Eficiência EU		98.3%
Eficiência MPPT		>99.5%
Proteção		
Proteção contra inversão de polaridade CC		Sim
Proteção contra curto-circuito		Sim
Proteção de sobrecorrente de saída		Sim
Proteção contra sobretensão		CC Tipo II / CA Tipo II (CA tipo I opcional)
Monitoramento de rede		Sim
Proteção de ilhamento		Sim
Monitorização de Strings		Sim
Digitalização de curva I/V		Sim
Função anti-PID		Opcional
AFCI integrado (proteção de circuito de falha de arco CC)		Sim
Interruptor CC integrado		Sim
Interruptor CA integrado		Opcional

Dados gerais

Dimensões (L*A*P)	1065*567*344.5 mm
Peso	84 kg
Topologia	Sem Transformador
Consumo próprio (noite)	<2 W
Faixa de temperatura ambiente de operação	-25 ~ +60°C
Umidade relativa	0-100%
Grau de proteção (IP)	IP66
Conceito de refrigeração	Refrigeração por ventilador redundante inteligente
Altitude máx de operação	4000 m
Certificados de padrão de conexão da rede	NBR 16149, NBR 16150, IEC 62116, IEC 61000-3-4/-5, IEC 61000-3-11/-12
Padrão de segurança / EMC	IEC 62109-1/-2, IEC 61000-6-2/-4

Características

Conexão CC	Conectores MC4
Conexão CA	Terminal OT (máx 185 mm ²)
Tela	LCD
Comunicação	RS485, Opcional: Wi-Fi, GPRS, PLC

ANEXO B – DATASHEET DO INVERSOR SOLIS-60K-4G

Folha de Dados

Modelo	Solis-50K	Solis-50K-HV	Solis-60K-HV	Solis-60K-4G
Entrada CC				
Potência máxima de entrada recomendada	75 kW	75 kW	90 kW	90 kW
Tensão máx de entrada	1100 V			
Tensão nominal	600 V	720 V	720 V	600 V
Tensão de partida	200V			
Intervalo de tensão MPPT	200-1000 V			
Corrente máx de entrada ⁽¹⁾	4*28.5 A	4*22 A		4*28.5 A
Corrente máx. do conector de entrada	9.5 A	11 A		9.5 A
Corrente máx de curto-circuito	4*44.5 A	4*34.3 A		4*44.5 A
MPPTs / Número de Entradas	4/12	4/8		4/12
Saída CA				
Potência nominal de saída	50 kW		60 kW	
Potência máx de saída aparente	55 kVA		66 kVA	
Potência máx de saída	55 kW		66 kW	
Tensão nominal da rede	3/N/PE, 220 V / 380 V, 230V / 400 V	3/PE, 480V		3/N/PE, 220 V / 380 V, 230V / 400 V
Frequência nominal da rede	50 Hz / 60 Hz			
Corrente nominal de saída da rede	72.2 A / 76 A	60.2 A	72.2 A	86.6 A / 91.2 A
Corrente máx de saída	83.3 A	66.2 A	80 A	100 A
Fator de potência	> 0,99 (0,8 inicial - 0,8 atrasado)			
Harmônicas (THDi)	<3%			
Eficiência				
Eficiência máxima	98.8%		99.0%	
Eficiência EU	98.4%		98.5%	
Eficiência MPPT			>99.5%	
Eficiência				
Eficiência máxima	98.8%		99.0%	
Eficiência EU	98.4%		98.5%	
Eficiência MPPT			>99.5%	
Proteção				
Proteção contra inversão de polaridade CC				Sim
Proteção contra curto-circuito				Sim
Proteção de sobrecorrente de saída				Sim
Proteção contra sobretensão				Sim
Monitoramento de rede				Sim
Proteção de ilhamento				Sim
Proteção de temperatura				Sim
Monitorização de Strings				Sim
Função anti-PID				Opcional
AFCI integrado (proteção de circuito de falha de arco CC)				Opcional
Interruptor CC integrado				Opcional

Dados gerais

Dimensões (L*A*P)	630*700*357 mm		
Peso	63 kg	61 kg	63 kg
Topologia	Sem Transformador		
Consumo próprio (noite)	<1 W		
Faixa de temperatura ambiente de operação	-25 ~ +60°C		
Umidade relativa	0-100%		
Grau de proteção (IP)	IP65		
Conceito de refrigeração	Refrigeração por ventilador redundante inteligente	Convecção natural	Refrigeração por ventilador redundante inteligente
Altitude máx de operação	4000 m		
Certificados de padrão de conexão da rede	NBR 16149, NBR 16150, IEC 62116, IEC 61000-3-4/-5, IEC 61000-3-11/-12		
Padrão de segurança / EMC	IEC 62109-1/-2, IEC62116, EN 61000-6-1/-2/-3/-4		

Características

Conexão CC	Conectores MC4
Conexão CA	Terminal OT
Tela	LCD
Comunicação	RS485, Opcional: Wi-Fi, GPRS

ANEXO B – DATASHEET DO TRANSFORMADOR

 DADOS TÉCNICOS FOLHA DE DADOS TRANSFORMADOR TRIFÁSICO SECO		-	Fl - 1	
		DATA	10/11/21	
		REVISÃO	00	
Proposta N°:		82.721		
ITEM		1		
DESEMPENHO EM CONDIÇÕES NOMINAIS				
24	PERDAS EM VAZIO (W)	PERDAS TOTAIS (W)	IMPEDÂNCIA DE C.C. Z%	CORRENTE DE EXCITAÇÃO I0%
	2900	14800	6,00	1,50
GARANTIA BASE			60 Hz-1200 C - 1000 kVA/13,8 kV/380V	
25	Rendimento %	COS φ		
	Carga (p.u.)	1,0	0,9	0,8
	1,50	98,089	97,881	97,622
	1,25	98,334	98,152	97,926
	1,00	98,561	98,404	98,208
	0,75	98,752	98,613	98,444
	0,50	98,848	98,722	98,565
0,25	98,568	98,412	98,217	
26	Regulação %	1,343	3,733	4,547
27	Nível de ruído AN	64dB		
28	Corrente c.c. simétrica p/t=2s	16,67 x In		
29	Corrente de inrush AT*	< 12 x In		
30	Descargas parciais	< 10pC		
				*Valor aproximado.
CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS				
		Transformador	Gabinete	
31	Altura (mm)*	CONFORME SKID		
	Largura (mm)*			
	Comprimento (mm)*			
	Distância entre rodas (mm)*			
	Massa (kg)*			
32	Localização dos terminais AT	Superior		
33	Localização dos terminais BT	Superior		
34	Terminal AT (material)	Alumínio		
35	Terminal BT (material)	Alumínio		
				*Valores aproximados.
DADOS COMPLEMENTARES E OBSERVAÇÕES				
46	Ensaio - Rotina conforme NBR 5356-11.			
47	Documentação fornecida: - Relatório de ensaio; - Manual de instruções.			
48				
49				
50				
DIVERGÊNCIAS, DESVIOS E EXCEÇÕES				
15				
16				
17				
18				
ESPAÇO RESERVADO PARA APROVAÇÃO DO CLIENTE				
Declaro que li e concordo com todas as informações descritas neste documento.				
Aprovado por:				
Assinatura: _____				
Nome: _____				
Data: / /				
CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS				
1	INSTALAÇÃO : INTERNA			
2	TEMPERATURA AMBIENTE MÁXIMA : 40 °C			
3	ALTITUDE : ≤ 1000 m			
CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS				
4	POTÊNCIA :	1000	kVA AN	
	FATOR K1			
5	GRAU DE PROTEÇÃO	IP - 00	sem Gabinete	
6	FREQUÊNCIA:	60	Hz	
7	TENSÕES NOMINAIS			
	Primário	13800	V Expedição em 13800	
	Derivações:	14490/14145/13800/13455/13110 V		
	Secundário:	380 /	220 V	
8	NÍVEIS DE ISOLAMENTO			
	Primário:	15	kV 34/95 kV (TA/NBI)	
	Secundário:	1,1	kV 3/- kV (TA/NBI)	
9	LIGAÇÕES			
	Primário:	Triângulo		
	Secundário:	Estrela com neutro acessível		
	Grupo de Ligação:	Dyn11		
CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS				
10	Padrão Romagnole: TSET AL 1000/15/1.1			
11	NORMAS :	NBR 5356-11 (Nível de Eficiência: D)		
12	ENROLAMENTOS			
	Primário:	Alumínio	Encapsulado	
	Secundário:	Alumínio	Resinado	
13	NÚCLEO			
	Tipo construtivo:	Empilhado		
	Chapa FeSi:	Grãos orientados		
	Corte:	Step-Lap	438	
14	CLASSE DE TEMPERATURA DOS MATERIAIS ISOLANTES:			
	PRIMÁRIO:	F (155 °C)	ELEV. TEMP. 100 °C	
	SECUNDÁRIO:	F (155 °C)	ELEV. TEMP. 100 °C	
ACESSÓRIOS				
37	Painel de derivação de tensão a vazio no corpo de bobina;			
38	Dispositivo de aterramento;			
39	Rodas bidirecionais lisas;			
40	Olhal para suspensão;			
41	1 Relé de temperatura com contatos de alarme e desligamento e 3 sensores de temperatura PT-100.			
42				
43				
44				
ELABORAÇÃO: José E. Bassan Jr.		VERIFICAÇÃO: Elton J. D. dos Santos		
		APROVAÇÃO: Elton J. D. dos Santos		