



**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

NICOLE AMANDA BOFF

**PROJETO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA UMA INDÚSTRIA DO RAMO
METALMECÂNICO**

**CAXIAS DO SUL
2018**

NICOLE AMANDA BOFF

**PROJETO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA UMA INDÚSTRIA DO RAMO
METALMECÂNICO**

Trabalho de conclusão de graduação, apresentado a Área de Conhecimento de Ciências Exatas e Engenharias da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora Prof^ª. Ma. Andréa Cantarelli Morales

**CAXIAS DO SUL
2018**

NICOLE AMANDA BOFF

**PROJETO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA UMA INDÚSTRIA DO
RAMO METALMECÂNICO**

Trabalho de conclusão de graduação, apresentado a Área de Conhecimento de Ciências Exatas e Engenharias da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Aprovado em ___/___/_____

Banca Examinadora

Prof^a. Ma. Andréa Cantarelli Morales
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof^a. Ma. Patrícia Giacomelli
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Msc. Taison Anderson Bortolin
Universidade de Caxias do Sul – UCS

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Carla e André, pelo amor, incentivo, paciência e por acreditarem em mim. Pelo exemplo, pois sem eles eu não conquistaria o tão sonhado diploma de Engenheira Ambiental. E ainda, por compreenderem a minha ausência em muitos finais de semanas.

A minha mãe por todas as conversas, desabafos, a cada abraço e companheirismo durante a graduação.

Ao meu pai, por me apresentar a paixão pelo meio ambiente, por toda a preocupação em querer me ajudar a entender algum exercício de aula.

Aos meus pimpolhos Dolly e Bobby, pelo companheirismo e carinho que recebi de vocês sem nunca esperarem nada em troca.

Ao meu amor, Gustavo, pelo carinho, paciência e companheirismo em muitos finais de semanas e madrugadas durante os vários anos de graduação. Obrigada por todo amor e atenção a mim dedicados.

Ao meu primo/irmão João, pelo companheirismo, amizade e por não ter fugido de mim porque eu 'só estudo'.

A minha família, por todo apoio e compreensão nas minhas ausências em muitos finais de semana.

As minhas amigas Mariana e Rochele, por estarem sempre ao meu lado, alegrando os meus dias durante a graduação, ouvindo e também reclamando das disciplinas mais difíceis, sofrendo junto comigo em muitas delas. Muito obrigada pela amizade de vocês, e é só o começo dela.

Aos meus amigos Matheus e Simone frutos da iniciação científica, a todos os ótimos momentos que dividimos na 'salinha', a todo apoio que vocês me deram, e toda paciência, a nossa amizade é para a vida toda.

A minha amiga Patrícia, pelo apoio e todas as aulas de zumba que me trouxeram momentos de felicidade e descontração em períodos de dificuldades.

Aos todos os meus amigos da graduação, pelos momentos e lembranças criados durante a vida acadêmica.

A minha orientadora, pelo empenho, confiança e a segurança passada durante as orientações.

“ Tente uma, duas, três vezes e se possível tente a quarta, a quinta e quantas vezes for necessário. Só não desista nas primeiras tentativas, a persistência é amiga da conquista. Se você quer chegar à onde a maioria não chega, faça o que a maioria não faz. ”

Bill Gates

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais fontes de energia elétrica no país e estimativa da produção para os próximos anos.	14
Figura 2 – Estruturas moleculares dos semicondutores.....	22
Figura 3 – Representação do processo de conversão fotovoltaica	22
Figura 4 - Composição do painel fotovoltaico.....	23
Figura 5 – Células de silício monocristalina e policristalina.....	24
Figura 6 - Células de filmes finos	24
Figura 7 - Conjunto de módulos em série e paralelo.....	26
Figura 8 - Localização do empreendimento em relação a cidade de Caxias do Sul .	27
Figura 9 - Histórico de consumo durante um ano na empresa.....	28
Figura 10 – Histórico de consumo x demanda contratada	29
Figura 11 - Representação da radiação	30
Figura 12 - Irradiação global horizontal média mensal.....	32
Figura 13 – Irradiação solar no Rio Grande do Sul (inverno e primavera)	32
Figura 14 – Irradiação solar do Rio Grande do Sul (verão e outono)	33
Figura 15 - Média anual de irradiação solar no Rio Grande do Sul.....	33
Figura 16 - Dados do painel GCL-P6/72	35
Figura 17 - Dimensões do painel.....	36
Figura 18 - Características do inversor	39
Figura 19 – Dados do Software Lusosol	42
Figura 20 – Sombreamento entre as placas	42
Figura 21 - Visualização do cenário 1	44
Figura 22 – Software Radasol	44
Figura 23 - Características do inversor	45
Figura 24 - Visualização do cenário 2	46

Figura 25 - Etapas da montagem mecânica.....	47
Figura 26 – Estrutura metálica com inclinação.....	48
Figura 27 - Suporte metálico	48
Figura 28 - Trilho	48
Figura 29 – Etapas da montagem elétrica.....	49
Figura 30 – Associações em série e paralelo.....	49
Figura 31 – Conectores MC4	50
Figura 32 – Formulário de solicitação de acesso	52
Figura 33 – Etapas do processo de liberação	53
Figura 34 - Resultados da avaliação da matriz de Leopold.....	60
Figura 35 - Pontuação dos aspectos da produção	61
Figura 36 - Pontuação dos aspectos da instalação.....	61
Figura 37 – Pontuação dos aspectos da operação e manutenção.....	62
Figura 38 – Investimento x Receita cenário 1	63
Figura 39 – Saldo em caixa cenário 1	64
Figura 40 – Investimento x Receita cenário 2	65
Figura 42 - Saldo em caixa cenário 2.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados de consumo de energia elétrica da empresa	35
Tabela 2 - Dados de Irradiação solar média de mensal de Caxias do Sul	37
Tabela 3 - Configuração de valores atribuídos na matriz de Leopold	59
Tabela 4 - Resumo de Viabilidade Cenário 1	64
Tabela 5 - Resumo da análise de viabilidade cenário 2	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Orçamento completo	54
Quadro 2 – Atividade relacionadas a implementação de um sistema fotovoltaico	59
Quadro 3 - Aspectos relacionados a implementação de um sistema fotovoltaico	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
CCST	Centro de Ciência do Sistema Terrestre
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
CH ₄	Metano
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
CRECESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GED	Norma Técnica da CPFL Energia
GCL	Poly Energy Holdings Limited
IGPM	Índice Geral de Preços do Mercado
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LABSOL	Laboratório de Energia Solar
MTE	Ministério do Trabalho
NBR	Norma Técnica da ABNT
NO _x	Óxidos de Nitrogênio
NR	Norma Regulamentadora
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto
PROINFA	Programa de Incentivo às fontes Alternativas de Energia Elétrica
PROGD	Programa de Desenvolvimento de Geração Distribuída de Energia Elétrica

RGE	Rio Grande Energia
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e de Custódia
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
SOx	Óxidos de Enxofre
SST	Segurança e Saúde do Trabalho
TIR	Taxa Interna de Retorno
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVO GERAL.....	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
2. ASPECTOS LEGAIS	18
3. ENERGIA	21
3.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	21
3.1.1 Sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica	24
4. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	26
4.1 POTENCIAL SOLAR	29
5. PROJETO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	34
5.1 PAINÉIS INCLINADOS.....	36
5.1.2 Instalação dos painéis	41
5.2 PAINÉIS JUNTO AO TELHADO	44
6. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	47
6.1 MONTAGEM MECÂNICA	47
6.2 MONTAGEM ELÉTRICA.....	48
6.3 SEGURANÇA NA EXECUÇÃO.....	50
6.4 PROCESSO JUNTO A CONCESSIONÁRIA	51
7. ORÇAMENTO	54

8. BENEFÍCIOS	56
8.1 BENEFÍCIOS TANGÍVEIS.....	56
8.1.1 Redução de custos na fatura de energia elétrica	56
8.2 BENEFÍCIOS INTANGÍVEIS	56
8.2.1 Redução de impactos ambientais	56
8.2.2 Autonomia na geração de energia	57
8.2.3 Imagem sustentável	57
8.2.4 Redução de perdas e aumento da vida útil	57
8.2.5 Estímulo ao comércio de sistemas fotovoltaicos	57
9. ANÁLISE DE VIABILIDADE	58
9.1 VIABILIDADE TÉCNICA.....	58
9.2 VIABILIDADE AMBIENTAL	58
9.3 VIABILIDADE ECÔNOMICA	62
9.3.1 Cenário 1	63
9.3.2 Cenário 2	64
9.4 CONSIDERAÇÕES DA ANÁLISE DE VIABILIDADE	66
10. CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
REFERÊNCIAS	69

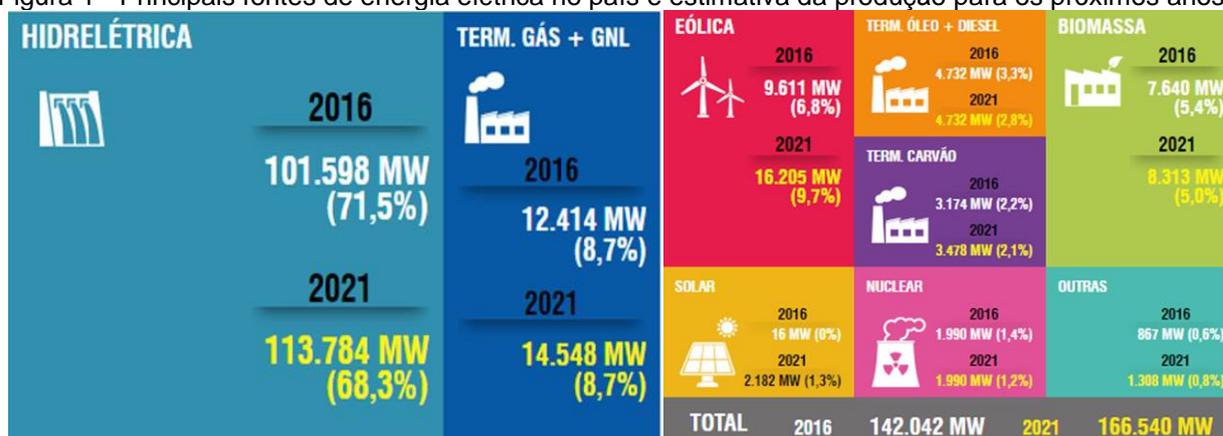
1. INTRODUÇÃO

O consumo e produção de energia estão intimamente ligados ao meio ambiente e a economia, pois de acordo com Vichi *et al.* (2009) o consumo de combustíveis fósseis acarreta no aquecimento global e efeito estufa. Parte das usinas de geração de energia elétrica utilizam como base os combustíveis fósseis, entretanto tais combustíveis não são os únicos responsáveis pelos impactos ambientais. Nas usinas nucleares a grande preocupação é com o “lixo atômico”, já as usinas hidrelétricas apresentam elevada participação na alteração do microclima regional.

A fonte de geração de energia em cada região varia com a disponibilidade dos recursos, influenciando diretamente a economia naquele local. Outros fatores são a insuficiência desses recursos e os elevados níveis de consumo de energia.

A demanda de energia elétrica cresce acentuadamente, visto que é indispensável para o crescimento econômico. Da mesma forma que as residências e os comércios são de grande representatividade no consumo de energia elétrica, as indústrias também exercem grande influência no aumento da demanda de energia a ser gerada. Segundo afirmam Goldemberg e Lucon (2007), o principal problema da matriz energética brasileira é que a mesma é composta principalmente por usinas hidrelétricas, bem como por termoelétricas, porém em menor proporção. A Figura 1 demonstra quais são as fontes de energia mais utilizadas atualmente e a produção estimada de energia para os próximos anos.

Figura 1 - Principais fontes de energia elétrica no país e estimativa da produção para os próximos anos.



Fonte: ONS (2016).

A região da Serra Gaúcha, mais especificamente Caxias do Sul é o segundo maior polo metalmeccânico do Brasil. De acordo com Barbosa e Pinto (2008) a região corresponde a 40% da produção nacional, considerando a produção de autopeças e implementos rodoviários. Com as altas demandas de produtos das grandes indústrias da região, empresas de menor porte são criadas a fim de atenderem as necessidades de suprimentos que surgem. Tal aspecto faz com que ocorra o crescimento da economia na região, gerando emprego e renda a milhares de pessoas, chamando a atenção e trazendo trabalhadores de diversos lugares.

Como aponta um estudo a respeito do ramo metal mecânico realizado pelo SEBRAE (2017), entre os anos de 2010 e 2012 a economia brasileira passou por um momento de crescimento após a crise de 2008. Nesse período, o Brasil estava entre os países mais promissores para investimentos, porém em 2015, devido à crise política do país a crise econômica retornou. De acordo com as informações fornecidas pelo Banco Central ao SEBRAE, o Produto Interno Bruto (PIB) nacional no ano de 2016 reduziu 3,86%, apresenta queda por dois anos consecutivos. Em contrapartida segundo o Banco Central, os anos de 2017 e 2018 serão responsáveis pelo aumento no PIB e melhora da economia.

Um fator que sofre interferência com as crises econômicas é o consumo de energia. Em momentos de melhora da situação econômica, a demanda por energia elétrica emerge, principalmente nas indústrias, que utilizam o maquinário constantemente em sua produção.

No Rio Grande do Sul, de acordo com o Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul (2017), 57,3% da energia gerada corresponde a hidroeletricidade, contra apenas 24,0% da termoeletricidade, sendo que o restante corresponde a geração eólica e solar.

A energia proveniente de usinas hidrelétricas é considerada uma fonte renovável, ou seja, uma fonte de energia inesgotável que pode ser usada continuamente. Entretanto, não é considerada uma energia limpa, ou seja, aquela que não gera resíduos e emissões atmosféricas ou impactos ambientais. Quando se opta por construir uma usina hidrelétrica, são muitos os impactos causados no ambiente.

Segundo Junk e Mello (1990), os impactos são a translocação da população, perdas de solo, perda de espécies de plantas e animais, modificações da geometria hidráulica dos rios, da carga sedimentar, da florística e faunística abaixo e acima da represa, com o aparecimento maciço de macrófitas. Além disso, os autores ainda citam a deterioração da qualidade da água e impactos para a pesca e aquicultura.

Uma alternativa para a redução de impactos ambientais relacionados à geração de energia elétrica, e os custos envolvidos nesse consumo, são as energias renováveis limpas, que de acordo com Villalva (2016), são as energias eólica, solar fotovoltaica, oceânica, geotérmica e de biomassa. Em questão das indústrias em zonas urbanas, as alternativas mais facilmente aplicáveis são as energias solar e eólica.

São duas as linhas de estudo voltadas à redução do consumo de energia das indústrias: a primeira trata-se da energia solar fotovoltaica e a segunda a energia eólica através de aerogeradores. O maior problema da utilização de geradores eólicos é o espaço útil necessário, impossibilitando a sua utilização na região urbana.

Diante disso, a solução para a redução de gastos com o consumo de energia pelas indústrias é o sistema solar fotovoltaico, o qual, segundo Villalva (2016), consiste na conversão direta de luz solar em energia elétrica, que pode ser armazenada em baterias ou em sistemas conectados à rede elétrica.

Atualmente a energia solar fotovoltaica é uma das fontes de energia que mais cresce no mundo (VILLALVA, 2016). A vantagem do sistema fotovoltaico é que ele gera impactos ambientais apenas na sua produção, porém de forma controlada. Após a instalação dos sistemas o impacto é praticamente nulo, e sua manutenção é de baixo custo. O sistema apresenta a vantagem de instalação no Brasil, por se tratar de um país tropical. Estudos vem sendo realizados a fim de aumentar a eficiência dos painéis que estão se tornando cada vez mais comuns, e, portanto, os seus custos estão sendo reduzidos. Após a instalação, apresenta retorno financeiro ao investidor e alcança uma economia de até 95% de acordo com a finalidade da utilização.

2. OBJETIVO GERAL

De acordo com o exposto, o principal objetivo deste trabalho é analisar a viabilidade de implementação de um sistema fotovoltaico aplicado a uma indústria metalúrgica de Caxias do Sul.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Verificar o consumo de energia elétrica da empresa, a área disponível e sua localização, para posterior dimensionamento do sistema fotovoltaico.
- ✓ Projetar dois cenários diferentes de aplicação do sistema;
- ✓ Avaliar a viabilidade sócio ambiental e econômica do sistema;
- ✓ Definir o melhor cenário para aplicação do sistema.

3. ASPECTOS LEGAIS

A Organização das Nações Unidas – ONU definiu em 2015 os 17 objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS), que devem ser cumpridos por todos os países do mundo até o ano de 2030 (ONU, 2017). Dentre estes objetivos o ODS7 menciona a energia acessível e limpa e determina “assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos” (ONU, 2017).

O 7º objetivo da ODS define que:

7.1 Até 2030, assegurar o acesso universal, confiável, moderno e a preços acessíveis a serviços de energia.

7.2 Até 2030, aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global.

7.3 Até 2030, dobrar a taxa global de melhoria da eficiência energética.

7.4 Até 2030, reforçar a cooperação internacional para facilitar o acesso a pesquisa e tecnologias de energia limpa, incluindo energias renováveis, eficiência energética e tecnologias de combustíveis fósseis avançadas e mais limpas, e promover o investimento em infraestrutura de energia e em tecnologias de energia limpa.

7.5 Até 2030, expandir a infraestrutura e modernizar a tecnologia para o fornecimento de serviços de energia modernos e sustentáveis para todos nos países em desenvolvimento, particularmente nos países menos desenvolvidos, nos pequenos Estados insulares em desenvolvimento e nos países em desenvolvimento sem litoral, de acordo com seus respectivos programas de apoio.

No âmbito nacional existe a Constituição Federal criada em 1988 com o intuito de assegurar os direitos sociais e individuais, a liberdade, a segurança, o bem-estar, o desenvolvimento, a igualdade e a justiça dos cidadãos (BRASIL, 1988).

Na esfera ambiental a Constituição Federal Brasileira defende em seu Artigo 225 que:

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 1988).

No ano de 2015 foi instituída a Política Nacional do Meio Ambiente, a qual prevê incentivos para estudos voltados ao consumo racional e a proteção dos recursos ambientais, e ainda em seu artigo 4º visa a interação do desenvolvimento econômico-social com a preservação do meio ambiente e do equilíbrio ecológico (BRASIL, 2015).

No mesmo ano visando a expansão dos conhecimentos em relação ao consumo sustentável foi instituída a Lei 13.186, que discorre a respeito da Educação para o Consumo Sustentável. Essa Lei tem como principais objetivos estimular a redução do consumo de água, energia e de outros recursos naturais, renováveis e não renováveis, no âmbito residencial e das atividades de produção, de comércio e de serviços, bem como estimular as empresas a incorporarem as dimensões social, cultural e ambiental no processo de produção e gestão, e fomentar o uso de recursos naturais com base em técnicas e formas de manejo ecologicamente sustentáveis (BRASIL, 2015).

A Lei 9.478 de 1997 a qual dispõe da Política Energética Nacional, aborda como alguns dos objetivos a proteção do meio ambiente e a promoção da conservação de energia, a utilização de fontes alternativas de energia e, ainda, a necessidade de estimular a pesquisa e o desenvolvimento relacionados à energia renovável (BRASIL, 1997).

Atualmente existem incentivos à produção de energia por meio de recursos renováveis, como o decreto Lei nº 168 que prevê a produção de energia elétrica por sistemas elétricos independentes (BRASIL, 1999). Assim como a Lei 10.438 de 2002 que criou o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – Proinfa (BRASIL, 2002).

Além das leis vigentes existe a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, que dispõe de diversas resoluções técnicas para a geração de energia individual.

A Resolução Normativa 482 de 2012 é dos documentos legais que apresenta orientações sobre acesso de microgeração e minigeração através da energia solar fotovoltaica (ANEEL, 2012). Sendo alterada em 2015 pela Resolução Normativa 687, a qual apresenta algumas modificações a respeito da geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, que se trata de um sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2015).

A Resolução Normativa 687 (ANEEL 2015, p. 1) destaca que:

I - Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

II - Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

III - Sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa;

A ANEEL publicou também em 2015 a portaria 538 que criou o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica- ProGD, tal portaria tem como objetivo promover a ampliação da geração distribuída de energia elétrica, com base em fontes renováveis, e cogeração e incentivo a implantação de geração distribuída em edificações públicas, tais como escolas, universidades e hospitais, edificações comerciais, industriais e residenciais (ANEEL, 2015).

Atualmente não existem legislações a níveis estadual e municipal no âmbito de incentivo ao consumo de energias renováveis limpas. Encontram-se apenas normas técnicas das concessionárias de energia elétrica.

Cada região possui uma empresa de distribuição de energia elétrica, e para cada qual denotam regras específicas para micro e minigeração de energia. Na cidade de Caxias do Sul a CPFL Energia é a empresa que administra a distribuição de energia. A mesma disponibiliza a Norma Técnica GED 15.303, nela são estabelecidos os requisitos técnicos mínimos a serem implementados nas instalações elétricas de consumidores conectados às redes de média e baixa tensão da empresa (CPFL ENERGIA, 2016).

As normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, também servem de embasamento para a aplicação de sistemas fotovoltaicos individuais. As NBRs 11704 e 10899 apresentam a classificação e os termos técnicos dos sistemas de conversão fotovoltaica de energia solar em energia elétrica, assim como as especificações técnicas e requisitos exigíveis para aceitação de módulos fotovoltaicos para uso terrestre em construções (ABNT, 2008; ABNT, 2013).

4. ENERGIA

O desenvolvimento tecnológico e humano resultou no aumento da demanda por energia elétrica. Conforme afirma Loys (2011), a demanda crescente por energia elétrica vem sendo apontada como um dos principais fatores pelas mudanças climáticas e ambientais.

Como alternativa para a redução do consumo de combustíveis convencionais e minimização de impactos gerados pelas hidrelétricas surgem as fontes alternativas de energia. Conforme expõem Villalva (2016), essas fontes alternativas se referem a fontes de energia que não poluem durante a geração de eletricidade, como por exemplo, pequenas centrais hidrelétricas, os geradores eólicos, os sistemas solares térmicos e os sistemas fotovoltaicos. O autor ainda aponta que os custos dessas fontes alternativas estão caindo com o aumento da escala de utilização.

Dentre as fontes alternativas de energia incluem-se as fontes limpas de energia, que apresentam impactos ambientais reduzidos e geram poucos resíduos e emissões atmosféricas (VILLALVA 2016). Entre elas encontra-se a energia solar fotovoltaica.

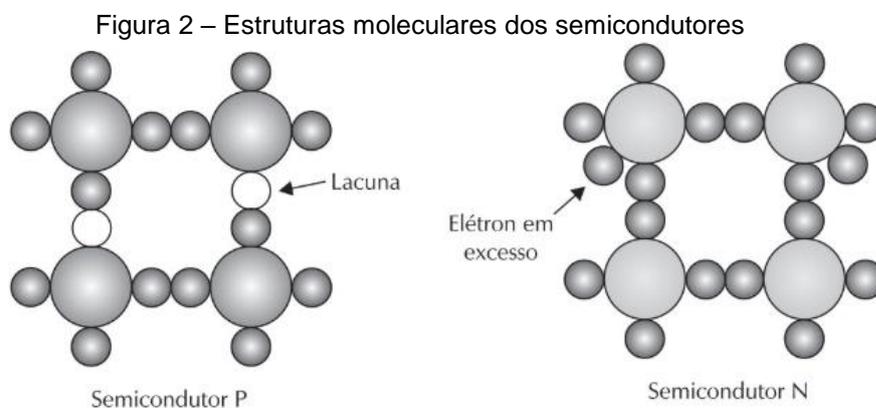
4.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica é adquirida através da conversão direta da luz em eletricidade e tem como base o efeito fotovoltaico. Segundo Zilles *et al.* (2012) “o efeito fotovoltaico ocorre em certos materiais semicondutores com capacidade de absorver a energia contida nos fótons presentes na radiação luminosa incidente, transformando-a em eletricidade”.

A transformação em eletricidade ocorre através da absorção da energia pelos materiais semicondutores, que quebram as ligações químicas entre as moléculas presentes na estrutura destes materiais, e dessa forma as cargas elétricas são liberadas (ZILLES *et al.* 2012).

Conforme explica Zilles *et al.* (2012) os materiais semicondutores que são utilizados para conversão fotovoltaica são compostos de elementos que absorvem a energia proveniente da radiação solar, e transferem uma parte dessa energia para os

elétrons, assim são formados os pares portadores de carga (elétrons e lacunas) como demonstra a Figura 2.

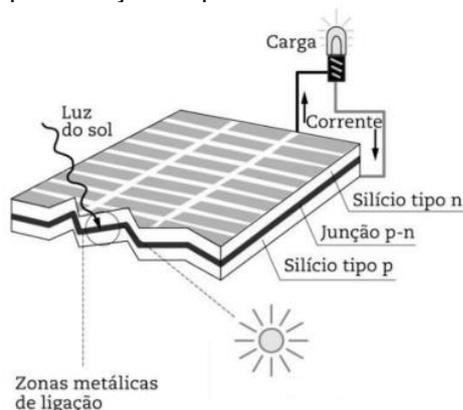


Fonte: VILLALVA (2016).

De acordo com Villalva e Gazoli (2013), a célula fotovoltaica é formada pela união de duas camadas de material semicondutor, uma dela é tipo P e outra tipo N como demonstrado na Figura 2. O material N apresenta elétrons em excesso ao contrário de P, onde os elétrons são escassos. Essas diferenças entre as camadas fazem com que os elétrons de N migrem para P criando um campo elétrico.

De acordo com Zilles *et al.* (2012), o campo elétrico formado é o responsável por consolidar a conversão fotovoltaica. Na Figura 3 é possível verificar o processo de conversão da radiação solar em energia elétrica.

Figura 3 – Representação do processo de conversão fotovoltaica

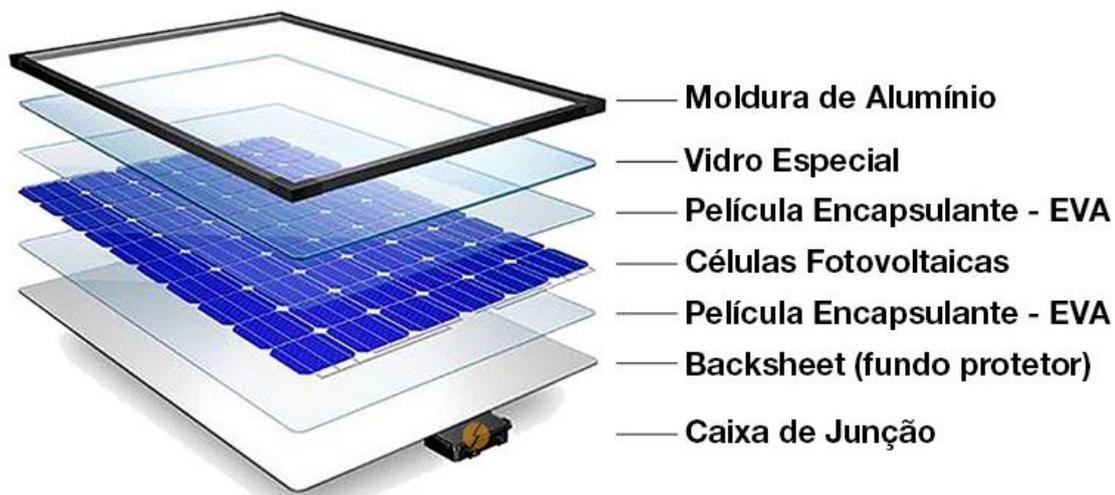


Fonte: Adaptado de Zilles *et al.* (2012).

São diversas as tecnologias de fabricação existentes para a produção de painéis de geração de energia fotovoltaica. De acordo com Villalva e Gazoli (2013),

as tecnologias mais aplicadas são as de silício monocristalino, policristalino e também as de filme fino de silício. A Figura 4 apresenta a composição das placas fotovoltaicas.

Figura 4 - Composição do painel fotovoltaico

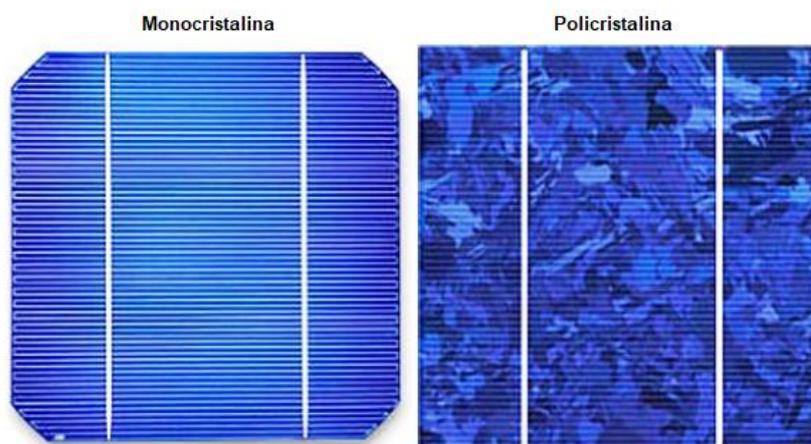


Fonte: Portal Solar (2018).

De acordo com o que explica EPE (2012), os sistemas monocristalinos possuem estrutura homogênea em toda sua extensão, e para a fabricação de células desse tipo é necessário que o silício tenha 99,9999% de pureza. Villalva e Gazoli (2013) afirmam que tais células são as mais eficientes produzidas em larga escala, e que alcançam eficiências de 15 a 18%, porém apresenta custo de produção mais elevado.

Quanto às células de silício policristalino, conforme EPE (2012), possuem basicamente as mesmas técnicas de fabricação das células monocristalinas, mas com menor rigor no controle do processo de fabricação. Villalva (2016) explica que o processo de fabricação é mais barato, e que a célula é formada por um aglomerado de pequenos cristais com tamanhos e orientações diferentes, o que lhe dá a característica de heterogeneidade, porém a eficiência alcança valores de 13 a 15%. A Figura 5 demonstra a diferença entre os dois modelos de placas.

Figura 5 – Células de silício monocristalina e policristalina



Fonte: EPE (2012).

Os filmes finos são formados por fatias muito delgadas (silício e outros) o que permite que sejam rígidas ou flexíveis. Esses filmes apresentam uma tecnologia mais recente e de menor custo de fabricação, permitindo a produção em grande escala. A eficiência dos filmes finos é reduzida, necessitando de áreas maiores para um melhor rendimento, entretanto tal tecnologia apresenta um melhor aproveitamento de níveis mais baixos de radiação (VILLALVA E GAZOLI, 2013). A Figura 6 apresenta o modelo dos filmes finos.

Figura 6 - Células de filmes finos



Fonte: Portal Solar (2018).

4.1.1 Sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica

São três os sistemas fotovoltaicos mais conhecidos, sendo um deles os sistemas isolados, que consistem em armazenar a energia produzida. De acordo com Câmara (2011), o armazenamento é realizado através de baterias, quando utilizada em aparelhos elétricos, porém é necessário um controlador de carga para que não ocorram danos a bateria devido aos processos de carga e descarga contínua. O

armazenamento também pode ser na forma de energia gravitacional para bombeamento em tanques de sistema de abastecimento.

Um problema referente ao uso de baterias para armazenamento da energia produzida, é que as mesmas apresentam reduzido tempo de vida útil, uma vez que estão diante da exposição a temperaturas elevadas. Além disso as baterias enfrentam questionamentos sobre seu impacto ambiental, devido à utilização de chumbo (ABBINE, 2012).

Outro tipo de sistemas são os híbridos, que apresentam várias fontes de geração de energia, ou seja, a união de turbinas eólicas, geradores, módulos fotovoltaicos e outros. Nesse tipo de sistema a energia produzida passa por uma unidade de controle e condicionamento de potência, e em seguida é armazenada ou disponibilizada para consumo. Um problema apresentado por este sistema é a complexidade devido à necessidade de otimização do uso das energias (CÂMARA, 2011).

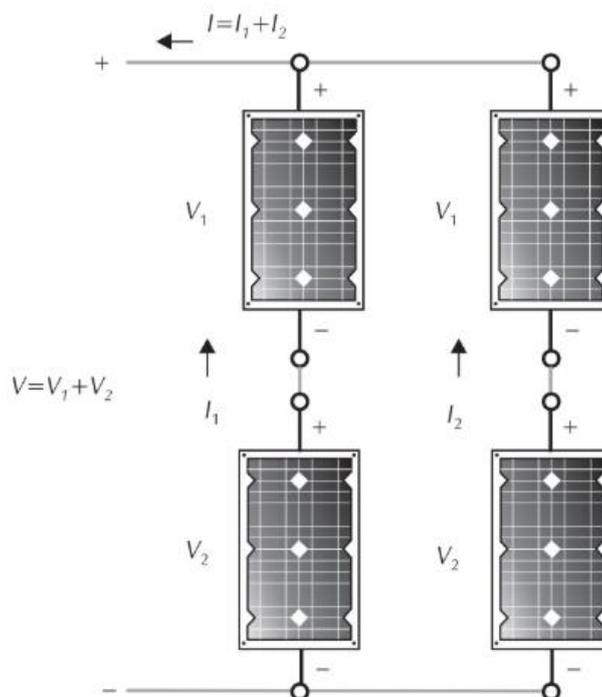
Os sistemas conectados à rede de distribuição operam juntamente à rede elétrica e têm como objetivo, conforme explica Villalva e Gazoli (2013), reduzir ou eliminar o consumo da rede pública e até mesmo gerar excedente de eletricidade. Quando a incidência solar for baixa, será a concessionária de energia que enviará a demanda do consumidor.

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR) favorecem a disponibilidade de energia no ponto de consumo, diminuindo perdas com transmissão e distribuição, além disso, o uso de baterias é suspenso, visto que o excesso de energia produzida é disponibilizada na rede para outros consumidores (URBANETZ et al, 2014). Ainda, o custo de instalação é reduzido pois a necessidade de baterias acumuladoras é descartada (RUTHER, 2004).

A conformação de um SFCR consiste no módulo fotovoltaico, o inversor e a rede elétrica. O módulo é responsável por gerar a energia em corrente contínua, e esta será enviada para uma unidade de potência (inversor), que transforma em corrente alternada, que em seguida é enviada para a rede elétrica (ZILLES, 2015).

Os SFSCR normalmente são conectados em conjuntos em série para aumentar a potência, e esses conjuntos são então ligados em paralelo, formando os chamados *strings* (Villalva e Gazoli, 2013). A Figura 7 apresenta um modelo deste tipo de ligação.

Figura 7 - Conjunto de módulos em série e paralelo

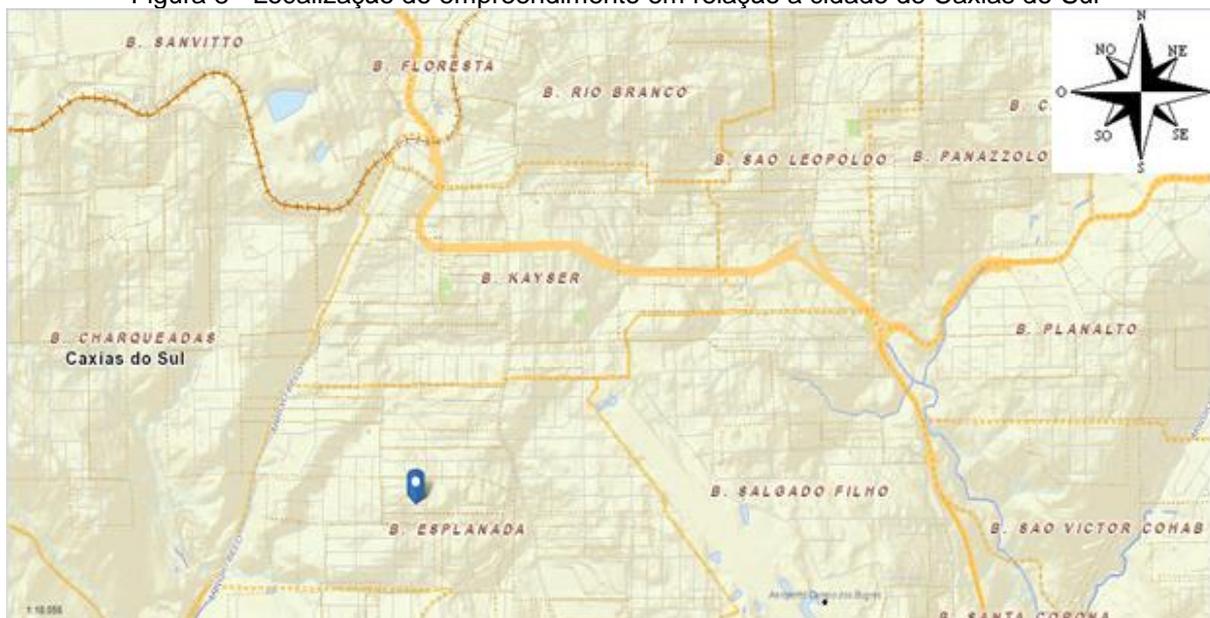


Fonte: Adaptado de Villalva (2015).

5. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

A empresa Metalúrgica Ltda. foi fundada em 1992 e atua na cidade de Caxias do Sul fornecendo seus serviços para empresas da Serra Gaúcha e demais regiões do Rio Grande do Sul. Tem como principal missão oferecer excelência em usinagem e soluções industriais para os diversos segmentos do mercado. A Figura 8 apresenta a localização da empresa.

Figura 8 - Localização do empreendimento em relação a cidade de Caxias do Sul



Fonte: Caxias do Sul (2018).

Atualmente, a empresa conta com cerca de 20 colaboradores, fabricando em média 30 mil peças por mês, especializada em produção de variados tipos de peças, conforme desenho e/ou amostra, usinando materiais como nylon, aço, alumínio, entre outros.

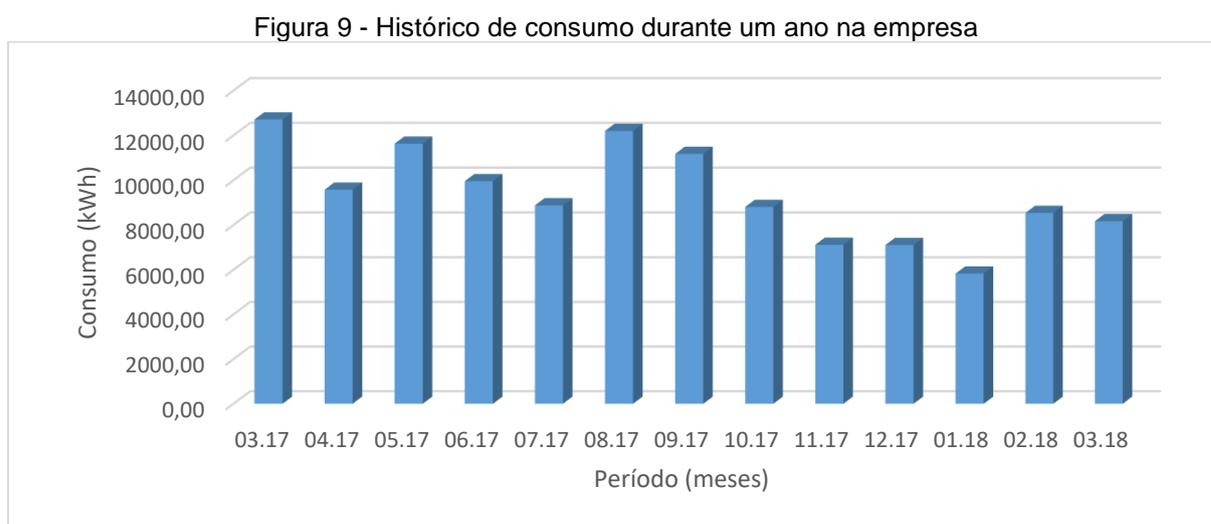
Os produtos desenvolvidos são projetados de acordo com os desenhos recebidos dos clientes, ou planejados conforme a necessidade solicitada. Todos os processos envolvidos são avaliados rigorosamente por uma equipe altamente qualificada, dispendo de maquinário e insumos com tecnologia de ponta, atendendo as exigências do setor.

A área atual da empresa é de 600 m² e está localizada na zona urbana de Caxias do Sul, impossibilitando a expansão de sua área. Atualmente a empresa conta com uma média de 30 máquinas que se mantém em funcionamento durante todo o período de atendimento da empresa, que é de aproximadamente 42 horas semanais.

A energia utilizada pela empresa Metalúrgica Ltda. é fornecida pela concessionária RGE, do grupo CPFL Energia, e está classificada como tarifa verde A4 industrial. Essa tarifa significa que a empresa apresenta consumo entre 2,3 a 25 kV (CPFL, 2018). A empresa trabalha com demanda contratada de energia que, de acordo com Eletrobrás (2011), significa a demanda de potência expressa em

quilowatts (kW) disponibilizada pela concessionária, no ponto de entrega, e que deverá ser integralmente paga, utilizando-a ou não durante o período de faturamento.

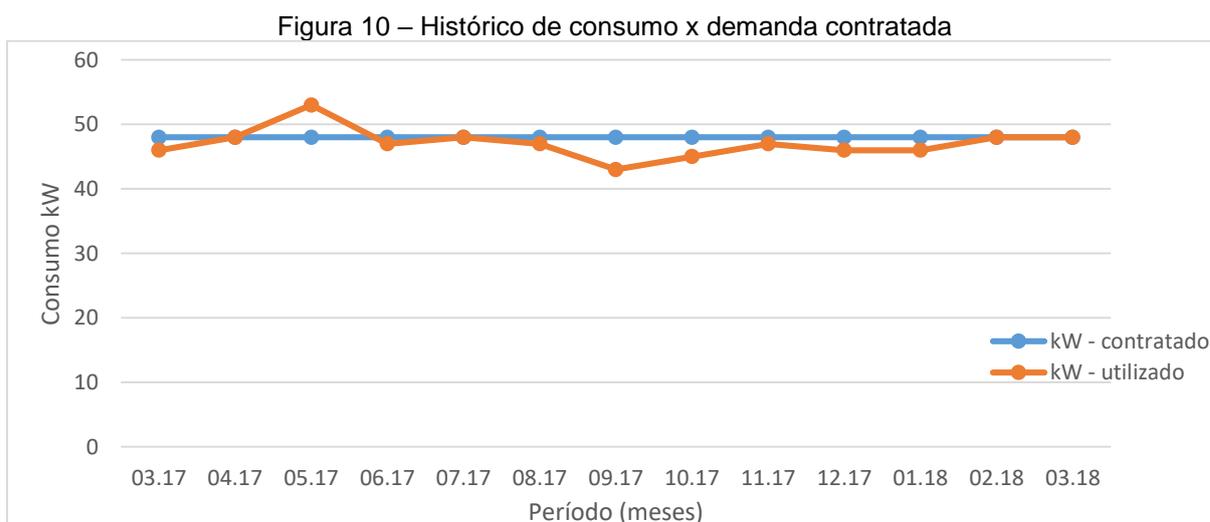
A Figura 9 apresenta o histórico de consumo da empresa durante um ano, onde é possível verificar que em alguns meses como março, maio, agosto e setembro de 2017 o consumo foi superior a 11.000 kWh, enquanto que em meses como novembro e dezembro de 2017 e janeiro de 2018 o consumo médio foi de 6.500 kWh.



Fonte: A autora (2018).

Essa grande variação no consumo de energia elétrica reflete diretamente nos custos da fatura mensal, pois por se tratar de demanda contratada, variações de consumo geram multas. A demanda contratada pela empresa atualmente é de 48 KW, e quando esse valor sofre alteração de 5% para mais, existe a cobrança de ultrapassagem, conforme exposto no artigo 93 da Resolução Normativa 414 da ANEEL (2010).

Na Figura 10 é descrito o histórico por mês de consumo relacionado a demanda contratada de energia pela empresa. Nota-se que no mês de maio de 2017 o consumo ultrapassou o limite de tolerância permitido em relação à demanda contratada, chegando a 53 kW. Os meses de setembro e outubro do mesmo ano também demonstraram variações significativas, porém o consumo foi inferior à demanda contratada.



Fonte: A autora (2018).

Conforme observado, o consumo de energia elétrica da empresa é alto, implicando além de altos custos na fatura, impacto ambiental pela utilização de fontes de geração de energia hidrelétrica e termelétrica. Assim, a utilização de fontes alternativas é um caminho sugerido a ser seguido.

5.1 POTENCIAL SOLAR

A radiação solar sofre variações em cada região do país (Villava e Gazoli, 2013), e portanto, o estudo do potencial solar no local de implementação do sistema fotovoltaico é de suma importância.

Conforme exposto no Atlas Brasileiro de Energia Solar (2012), condições atmosféricas como a nebulosidade, umidade relativa do ar e radiação solar sofrem a interferência da latitude, da hora e do dia do ano. Tais alterações ocorrem devido ao movimento de rotação, translação ou revolução da Terra.

Tolmasquim (2016) afirma que a radiação solar pode ser decomposta em planos, sendo um deles o plano horizontal, onde a radiação global é composta pela união das componentes direta e difusa. O outro é o plano inclinado, que é formado pelas componentes citadas, além de uma parte refletida na superfície e nos elementos do entorno, como demonstra a Figura 11.

Figura 11 - Representação da radiação



Fonte: VILLALVA (2016).

Conforme explica Tolmasquim (2016), a irradiação global horizontal é a mais importante quando se trata de aproveitamento fotovoltaico. Essa irradiação quantifica a irradiação recebida pela superfície plana horizontal, que é composta pela irradiação difusa horizontal e pela irradiação direta normal. A irradiação difusa horizontal se refere a parte que é dispersa e atenuada por reflexões em nuvens, poeira, vapor d'água entre outros, enquanto que a irradiação direta normal é caracterizada pela parcela que atinge o solo diretamente, sem reflexões.

A irradiância como grandeza utilizada para quantificar a irradiação solar, é expressa em W/m^2 , e por se tratar de uma unidade de potência, expressa a energia transportada durante um certo intervalo de tempo. Quanto maior a potência da irradiação solar, mais energia ela transporta por intervalo de tempo (Villalva e Gazoli, 2013).

No Brasil, as regiões Nordeste e Centro-Oeste possuem o maior potencial para aplicação de energia solar, contudo as demais regiões do país não apresentam desvantagem. Quanto a região Sul, se observa um nível intermediário de potencial

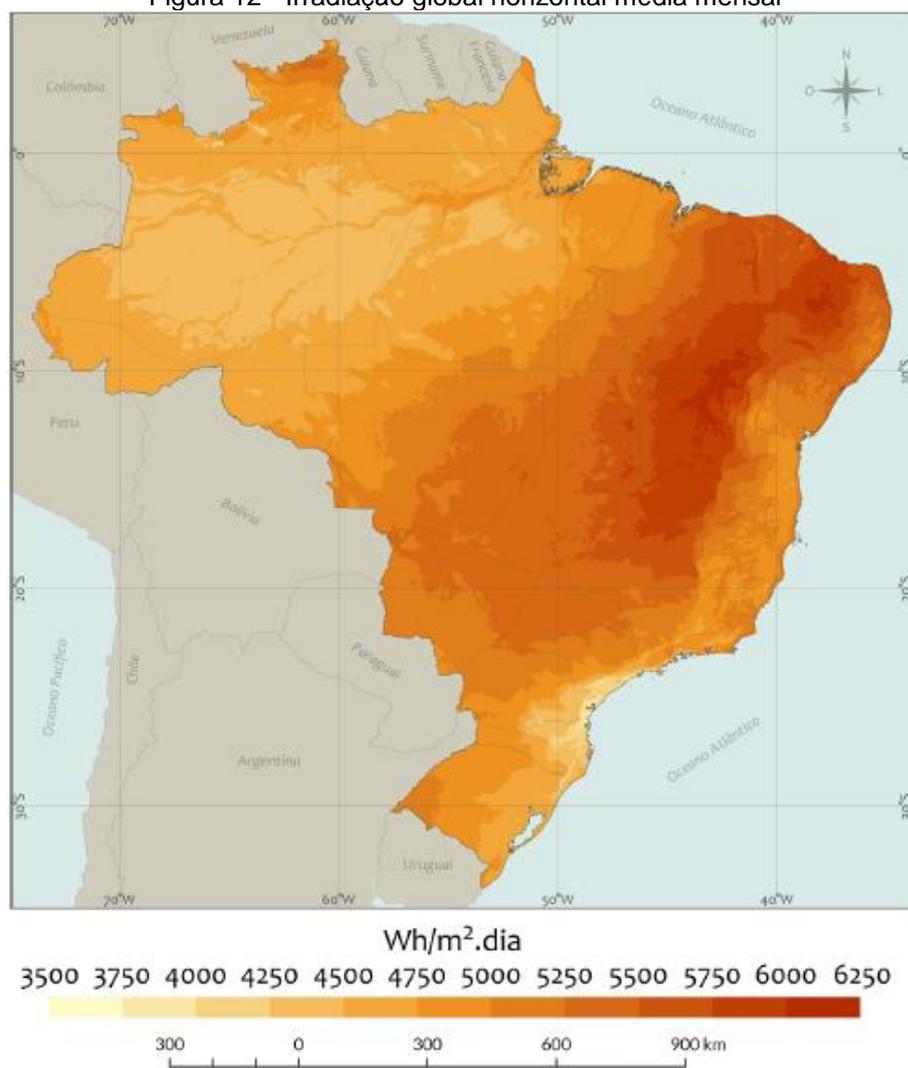
solar, e conforme afirmam Villalva e Gazoli (2013), tal região ainda apresenta índice de radiação maior que alguns países que utilizam tal tecnologia em grande escala.

A Figura 12 apresenta a irradiação global horizontal média mensal. Observando a imagem é possível constatar que a irradiação no Brasil varia de 3.750 a 6.250 Wh/m²d, e que são poucas as regiões que apresentam níveis baixos de irradiação (3.750 Wh/m²d), como é o caso da região Norte (Amazonas) e também parte da região Sudeste. É possível observar também que os níveis máximos de irradiação são nas regiões Nordeste, parte das regiões Centro-Oeste e Sudeste do país.

Quanto ao Rio Grande do Sul, local de estudo deste trabalho, apresenta níveis de 4.700 Wh/m²d de irradiação nas regiões Nordeste, Centro-Leste e Sudeste do estado, e níveis maiores como 5.500 Wh/m²d de irradiação em regiões localizadas na parte Sudoeste e Centro-Oeste do estado.

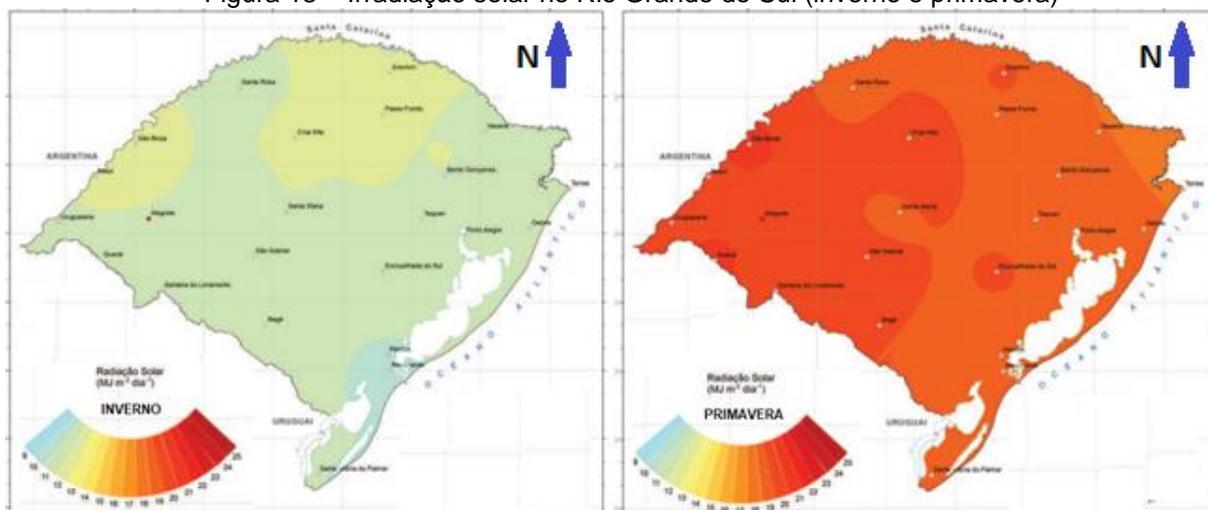
Como exposto anteriormente, a região Sul é uma das menos favorecidas em questão de potencial solar. A Figura 13 apresenta a irradiação solar no Rio Grande do Sul de acordo com as épocas do ano, inverno e primavera. Percebe-se que o inverno é a época com menor incidência de irradiação solar variando de 10 a 12 MJm²/d, sendo a região da Serra aproximadamente 11 MJm²/d. Já na primavera, os índices aumentam consideravelmente, chegando a níveis de 20 MJm²/d.

Figura 12 - Irradiação global horizontal média mensal



Fonte: Adaptado de ANEEL 2017.

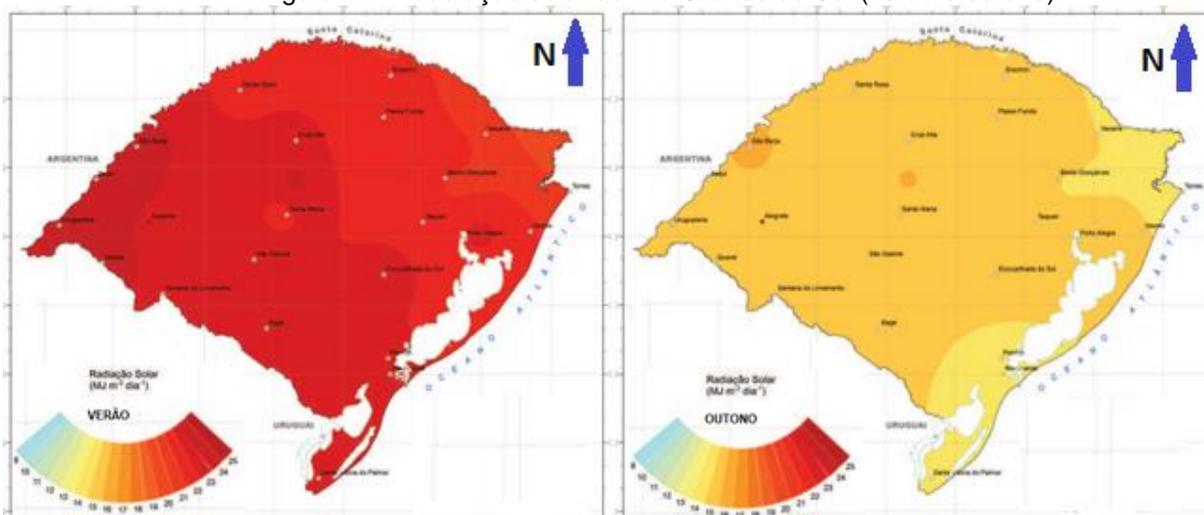
Figura 13 – Irradiação solar no Rio Grande do Sul (inverno e primavera)



Fonte: Adaptado de CEMET-RS (2011).

Na Figura 14 são observados os índices de irradiação solar no verão e no outono. Assim como o inverno, o outono apresenta índices mais baixos de irradiação, com média aproximada de 17 MJm²/d. Quanto ao verão, é possível observar os maiores índices de irradiação do ano, chegando a 22 MJm²/d na região de Caxias do Sul.

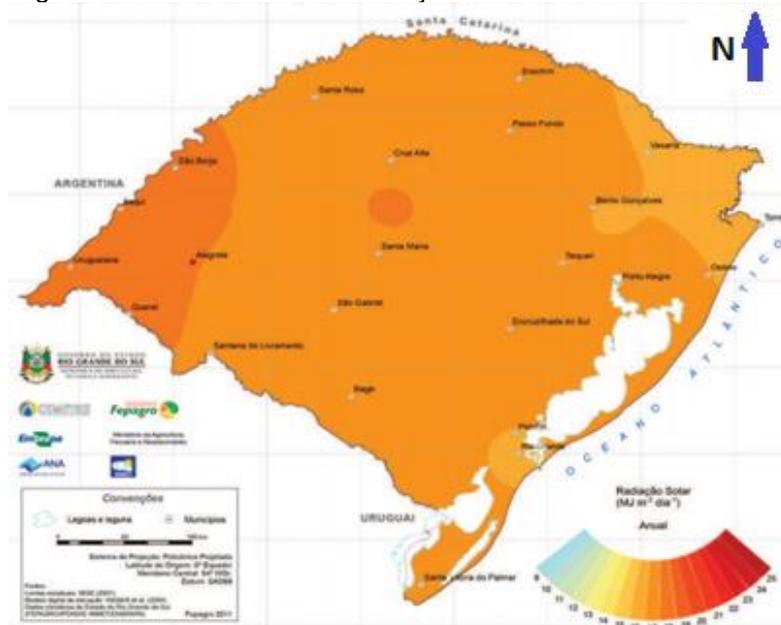
Figura 14 – Irradiação solar do Rio Grande do Sul (verão e outono)



Fonte: Adaptado de CEMET-RS (2011).

A Figura 15 demonstra a média anual de irradiação solar no estado do Rio Grande do Sul, onde se observa que na região da serra Gaúcha a média permanece entre 16 e 17 MJm²/d, semelhante ao outono.

Figura 15 - Média anual de irradiação solar no Rio Grande do Sul



Fonte: CEMET-RS (2011).

De acordo com o Atlas Energético Brasileiro (ANEEL, 2002), para aumentar o aproveitamento da irradiação solar, se deve ajustar o painel solar de acordo com a latitude local e o período do ano em que se requer mais energia. No Hemisfério Sul, o sistema de captação solar deve ser orientado para o norte, com ângulo de inclinação similar ao da latitude local.

Nesse sentido, foram utilizados dois softwares para obtenção dos dados de irradiação solar, um deles foi o *SunData* v 3.0, o qual é uma ferramenta de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos, e utiliza como banco de dados o Atlas Brasileiro de Energia Solar - 2ª Edição. O mesmo foi produzido pelo Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), através do seu Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia (CRECESB 2018). Este software foi utilizado para a obtenção dos dados utilizados no dimensionamento do cenário 1 deste projeto.

O segundo sistema utilizado foi o software *Radiasol*, o qual utiliza modelos matemáticos que determinam o efeito da inclinação da superfície receptora, e a irradiação solar em suas componentes direta e difusa, a partir dos quais é gerado um conjunto de dados na forma de tabelas ou gráficos (LABORATÓRIO DE ENERGIA SOLAR - LABSOL, 2018). Este software foi utilizado para a obtenção dos dados utilizados no dimensionamento do cenário 2 deste projeto.

Com os dados de irradiação obtidos através dos dois softwares foi possível realizar o dimensionamento do sistema fotovoltaico para ambos os cenários. Os dados obtidos dos sistemas estão apresentados juntamente com os cálculos no capítulo 5.

6. PROJETO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Baseado no histórico de consumo da empresa Metalúrgica Ltda. foi possível quantificar a demanda de energia a ser produzida pelo sistema fotovoltaico. Na Tabela 1 é possível observar o histórico de consumo dos meses de março de 2017 a março de 2018. Se observa que o consumo médio mensal é de 9.364,62 kWh, sendo esse dado utilizado no dimensionamento do sistema.

Tabela 1 - Dados de consumo de energia elétrica da empresa

Consumo Ponta		Consumo Fora de Ponta		Consumo total	
Mês/ano	kWh	Mês/ano	kWh	Mês/ano	kWh
03.17	759,00	03.17	11952,00	03.17	12711,00
04.17	484,00	04.17	9095,00	04.17	9579,00
05.17	1163,00	05.17	10469,00	05.17	11632,00
06.17	906,00	06.17	9054,00	06.17	9960,00
07.17	425,00	07.17	8458,00	07.17	8883,00
08.17	1308,00	08.17	10894,00	08.17	12202,00
09.17	1214,00	09.17	9963,00	09.17	11177,00
10.17	544,00	10.17	8268,00	10.17	8812,00
11.17	241,00	11.17	6882,00	11.17	7123,00
12.17	395,00	12.17	6716,00	12.17	7111,00
01.18	94,00	01.18	5738,00	01.18	5832,00
02.18	169,00	02.18	8373,00	02.18	8542,00
03.18	198,00	03.18	7978,00	03.18	8176,00
Média C.ponta	607,69	Média C. fora ponta	8756,92	Média total mensal	9364,62

Fonte: Adaptado de fatura de energia elétrica RGE (2018).

Uma vez que o consumo de energia elétrica da empresa Metalúrgica Ltda. é significativamente alto, a quantidade de placas a serem instaladas será elevada. Desse modo os critérios considerados na escolha do modelo de placa foram baseados na potência, eficiência e nas dimensões das placas.

A marca escolhida, aprovada pelo INMETRO, é a GCL, modelo GCL-P6/72 com eficiência de 17% e potência de 330 W. A Figura 16 apresenta as principais características do painel escolhido e a Figura 17 apresenta as dimensões da placa escolhida. O documento completo com todas as descrições é apresentado no Anexo A.

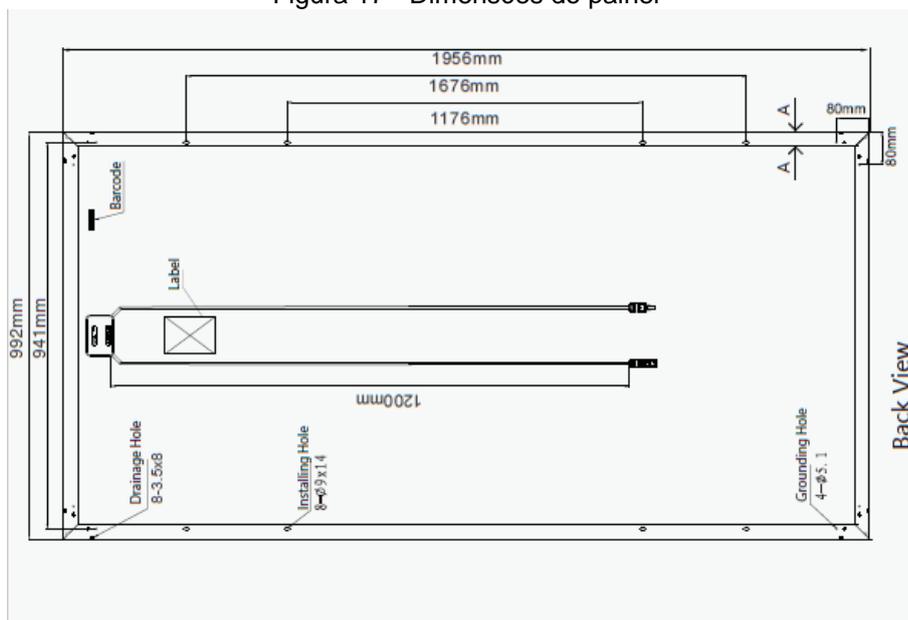
Figura 16 - Dados do painel GCL-P6/72

ELECTRICAL SPECIFICATION (STC)					
TYPE (STC)	GCL-P6/72 310	GCL-P6/72 315	GCL-P6/72 320	GCL-P6/72 325	GCL-P6/72 330
Maximum Power P_{max} (W)	310	315	320	325	330
Maximum Power Voltage V_m (V)	37	37.2	37.4	37.6	37.8
Maximum Power Current I_m (A)	8.38	8.47	8.56	8.64	8.73
Open Circuit Voltage V_{oc} (V)	45.4	45.6	45.8	46	46.2
Short Circuit Current I_{sc} (A)	8.99	9.08	9.17	9.24	9.33
Module Efficiency (%)	16.0	16.2	16.5	16.7	17.0
Power Output Tolerance P_m (W)	0~+5				

Values at Standard Test Conditions STC (Air Mass AM1.5, Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C).

Fonte: GCL - Poly Energy Holdings Limited (2018).

Figura 17 - Dimensões do painel



Fonte: GCL - Poly Energy Holdings Limited (2018).

A localização da empresa é Leste-Oeste, conforme apresentado na Figura 8, e dessa forma serão apresentadas duas configurações para aplicação do sistema. A primeira delas será considerando os painéis inclinados em relação ao Norte, e a segunda será junto ao telhado, na orientação Leste-Oeste.

Nos próximos subcapítulos estão apresentados os dimensionamentos para os dois cenários propostos, isso porque é importante estudar a disposição das placas sobre o telhado da empresa, além disso, é necessário também realizar um estudo de sombreamento das placas, para que sejam evitadas as perdas de energia. Dessa forma, a disposição das placas pode ser arranjada de diferentes maneiras, para avaliar qual é a melhor opção de aplicação do projeto.

6.1 PAINÉIS INCLINADOS – CENÁRIO 1

O primeiro cenário avaliado será com a aplicação dos painéis inclinados em direção ao norte para que ocorra o maior aproveitamento da irradiação solar, sendo que os dados foram obtidos no sistema *SunData*. Nele foram informadas as coordenadas geográficas da empresa e os dados obtidos são apresentados no Tabela 2.

Diante dos dados fornecidos pelo sistema, o mês que apresenta menor irradiação solar é o mês de junho, apresentando valores semelhantes aos meses de

maio e julho. Segundo as informações obtidas o mês de dezembro é o que apresenta melhores índices de irradiação, seguido dos meses de novembro e janeiro.

Os valores da irradiância apresentados na Tabela 2 são referentes a estação de coleta de dados mais próxima da empresa, sendo esses dados obtidos através do sistema *SunData*. Conforme o software mostra, a maior irradiância é obtida com os painéis na inclinação de 22° Norte, assim, o valor médio utilizado será o informado para esta inclinação.

Tabela 2 - Dados de Irradiação solar média de mensal de Caxias do Sul

Ângulo	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]														
	Incli.	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Plano Horizontal	0° N	6,22	5,73	4,77	3,85	2,84	2,41	2,69	3,43	3,69	4,81	6,19	6,49	4,43	4,08
Ângulo igual a latitude	29° N	5,54	5,48	5,03	4,6	3,77	3,37	3,7	4,29	4,01	4,73	5,6	5,66	4,65	2,29
Maior média anual	22° N	5,79	5,63	5,05	4,5	3,61	3,2	3,51	4,15	4	4,83	5,83	5,95	4,67	2,75
Maior mínimo mensal	49° N	4,57	4,75	4,67	4,61	3,99	3,66	3,97	4,41	3,82	4,2	4,67	4,59	4,33	1,1

Fonte: Adaptado de CRESESB (2018).

Após a obtenção destes dados, e da potência necessária para o abastecimento completo da empresa, é possível calcular a quantidade de placas necessária para atender sua demanda. Com a Equação 1 verifica-se a potência total necessária.

$$P_T = \frac{C}{I * \eta_{rendimento}} \quad (1)$$

Sendo:

P_T a potência total necessária (kW);

C o consumo de energia elétrica da empresa diário (kWh/d);

I a irradiância média (kWh/m².d);

$\eta_{rendimento}$ o rendimento do sistema (%).

O rendimento do sistema é obtido a partir da consideração das perdas de energia, sendo as principais delas:

- Perdas por temperatura 11,5%;
- Incompatibilidade elétrica 1,5%;
- Acúmulo de sujeira 2,0%;
- Cabeamentos 2,0%;
- Inversores 4,0%.

Após determinar o valor de cada perda separadamente, o mesmo é subtraído do 100%, e então os resultados são multiplicados, resultando em uma variável rendimento de aproximadamente 80%. Por tanto, a potência necessária para o sistema fotovoltaico será:

$$P_T = \frac{312,15}{4,67 * 0,8}$$

$$P_T = 83,55 \text{ kW}$$

Com a potência calculada, é possível obter o número de placas necessárias para o sistema fotovoltaico, a partir da Equação 2.

$$N_p = \frac{P_T}{P_p} \quad (2)$$

Sendo:

N_p o número de painéis necessários (unidades);

P_T a potência total necessária (kWh);

P_p a potência de cada painel (kW).

Dessa forma calcula-se o número de painéis necessárias.

$$N_p = \frac{83,55}{0,33}$$

$$N_p = 253,19 \text{ painéis}$$

$$N_p \cong 253 \text{ painéis}$$

Após a determinação da quantidade de placas, e o modelo da mesma, é necessário escolher o inversor, que transforma a corrente contínua produzida pelo painel fotovoltaico em corrente alternada, a qual é utilizada para consumo.

O modelo de inversor escolhido para o sistema foi da marca Kstar, denominado GSL SERIES Central Grid-tied PV Inverter GSL0050. Na Figura 18 são apresentadas as principais características do modelo e no Anexo B é apresentada a ficha técnica completa.

Figura 18 - Características do inversor

MODEL	GSL0050	GSL0100	GSL0250	GSL0500	GSL0630
INPUT					
Max. DC input power	55KW	110KW	275KW	550KW	690KW
Max. DC input voltage	900Vdc				1000Vdc
MPPT tracking voltage range	450~850Vdc (Rated voltage 576Vdc)				
Number of MPPT tracking	1				
Max. input current	120A	240A	600A	1200A	1440A
OUTPUT					
Rated output power	50KW	100KW	250KW	500KW	630KW
Rated output voltage	270Vac	270Vac	270Vac	270 or 315Vac	315Vac
AC output topology	3Ph+PE				
Output voltage range	(1 ± 15%) x Normal AC Voltage (adjustable ±5%, ±10%, ±15%, ±20%)				
Grid frequency range	50/ 60Hz (± 4.5Hz), (adjustable)				
Rated AC output current	107A	214A	535A	1070 or 916A	1155A
Max. AC output current	118A	234A	588A	1176 or 1007A	1212A
Power factor (cosΦ)	1 (0.9 leading – 0.9 lagging) (adjustable)				
Total harmonic current distortion (THDi)	<3%				

Fonte: kstarnewenergy (2018).

Conforme explica Zilles *et al.* (2015), os módulos dos sistemas fotovoltaicos são associados em série primeiramente, até que atinjam a tensão desejada, e depois são colocadas em paralelo as várias associações em série até atingir a corrente desejada, tais associações são denominadas *strings*.

Por se tratar de uma demanda de energia elevada, a quantidade de placas a serem instaladas é alta, assim, será necessário determinar qual é o número de placas máximo que podem ser ligadas em série. A Equação 3 é possível calcular esta quantidade.

$$N_{PS} = \frac{T_{EI}}{T_P} \quad (3)$$

Sendo:

N_{PS} o número de painéis ligados em série;

T_{EI} o valor da tensão de entrada do inversor (V);

T_P a tensão de circuito aberto do painel (V).

Considerando os dados obtidos nas Figuras 16 e 18, é possível calcular a quantidade de módulos ligados em série.

$$N_{PS} = \frac{900}{46,2}$$

$$N_{PS} = 19,48 \text{ paineis}$$

$$N_{PS} \cong 19 \text{ paineis}$$

Conforme calculado anteriormente, podem ser ligados em série até 19 painéis, após isso, cada conjunto será associado em paralelo. A Equação 4 determina quantos *strings* podem ser ligados em um inversor.

$$N_{strings} = \frac{C_{máxI}}{C_P} \quad (4)$$

Sendo:

$N_{strings}$ o número de combinações por inversor instalado;

$C_{máxI}$ a corrente máxima do inversor (A);

C_P a corrente de curto circuito do painel (A).

$$N_{strings} = \frac{120}{9,33}$$

$$N_{strings} = 12,86 \text{ strings}$$

$$N_{strings} \cong 12 \text{ strings}$$

Conforme calculado o inversor que suporta até 228 painéis. Dessa forma conforme o número de placas calculado faltará 25 painéis para suprir demanda da empresa Metalúrgica Ltda. Assim serão mantidos os 228 painéis ligados em 12 *strings* de 19 placas ligadas em série.

Quando definida a quantidade de placas, suas configurações e o inversor, é então necessário definir os condutores que serão utilizados no sistema fotovoltaico. Levando em consideração a corrente de cada painel (8,73 A), e considerando que nos

painéis ligados em série a corrente se mantem, e nos *strings* ligados em paralelo as correntes são somadas, o valor de corrente resultante para o conjunto é de 96,03 A.

De acordo com a NBR 5410 (2008), os fios condutores a serem utilizados, que unem o conjunto de placas ao inversor, serão cabos multipolares em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante com seção nominal de 50 mm². O mesmo cabo será utilizado na saída do inversor que ligará o mesmo a rede de distribuição.

5.1.2 Instalação dos painéis

A inclinação adequada das placas é determinada a partir dos dados da Tabela 2 apresentada anteriormente, que é de 22° considerando a inclinação de maior aproveitamento de irradiação.

Ainda se deve levar em consideração a distância entre cada placa, conforme citado anteriormente, o sombreamento interfere diretamente sobre a eficiência do sistema. Marques (2017) afirma que o sombreamento exerce a redução da corrente do sistema e, com isso a redução da potência, isso porque uma placa sombreada funciona como uma carga para o sistema, ou seja, a parcela sob a sombra consome parte a energia produzida pelo restante da placa.

Para determinar a sombra que cada placa exerce sobre a outra foi aplicado uma relação considerando a inclinação do Sol e a incidência da irradiação sobre as placas. O valor da inclinação do sol foi do Solstício de Inverno no hemisfério Sul, que se trata da menor inclinação diária do sol durante o ano, que acontece em 21 de junho. Esse valor foi obtido através da ferramenta online *Sun Earth Tools* (SUNEARTHTOOLS, 2018).

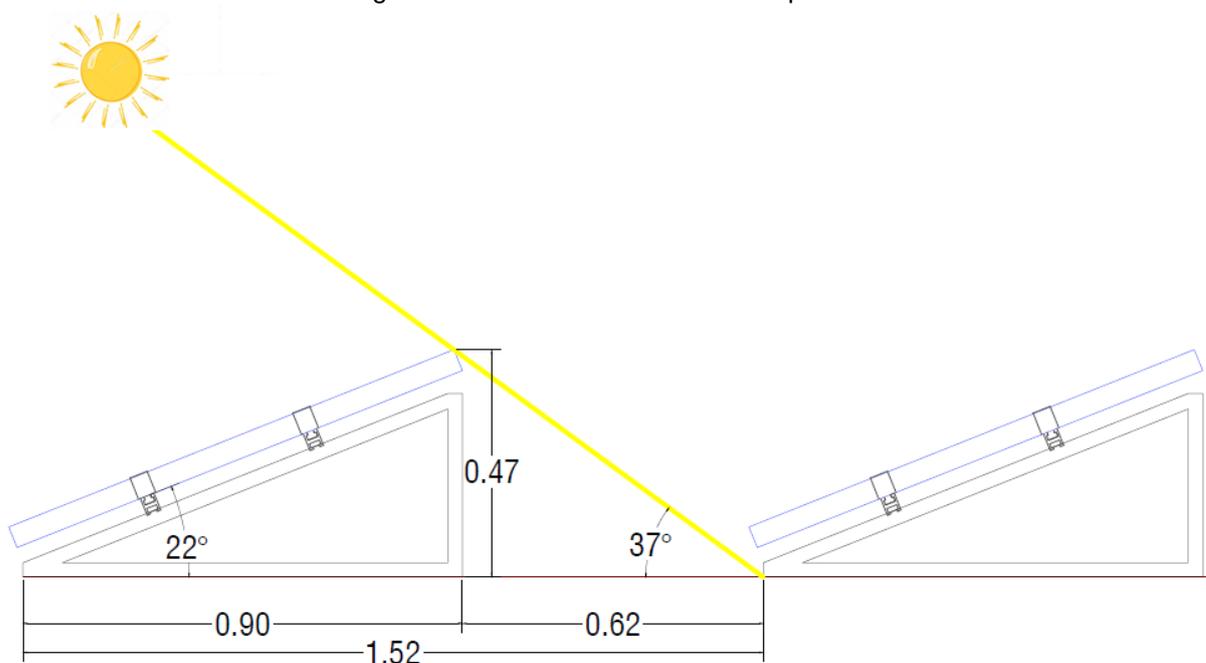
O cálculo foi realizado com o auxílio do software *Lusosol* como apresentado na Figura 19 (LUSOSOL, 2018). A Figura 20 apresenta o distanciamento entre as placas de acordo com as dimensões dos painéis, a sua inclinação e a inclinação do sol.

Figura 19 – Dados do Software Lusosol

Valores conhecidos		Valores calculados	
Lado a	0.47	Lado a	0.47
Lado b	0.90	Lado b	0.9
Lado c	0.99	Lado c	1.02
Ângulo A	22 °	Ângulo A	27.57 °
Ângulo B	68 °	Ângulo B	62.43 °
Ângulo Sol 21/12 *	37 °	Ângulo C	90 °
* = Ângulo do Sol no Solstício de Inverno (21/12) às 12h00. Valor para Lisboa. Pode ser alterado.		Distância 1*	0.62
Utilize um ponto em vez de vírgulas na introdução de números decimais		Distância 2*	1.52
Calcular Limpar		1* = Distância mínimo livre entre 2 campos de colectores para evitar sombreamento dos colectores da fila 1 nos colectores de fila 2 (Ponto "C" da fila 1 até o ponto "A" da fila 2). 2* = Distância mínimo entre fileiras de 2 campos de colectores para evitar sombreamento dos colectores da fila 1 nos colectores de fila 2 (Ponto "A" da fila 1 até o ponto "A" da fila 2). (Lado b + Distância 1).	
<i>Utiliza um ponto [.] na introdução de numeros decimais</i>			

Fonte: LUSOSOL (2018).

Figura 20 – Sombreamento entre as placas



Fonte: A autora (2018).

Com o espaçamento entre os módulos calculado, define-se então a nova quantidade de placas possível de aplicação na área atual de pavilhão. Como abordado anteriormente, a empresa conta com 600 m² totalizando 201 placas fotovoltaicas.

Nessa configuração, serão ligadas 19 placas em série e serão mantidos 10 *strings* por inversor, totalizando 190 placas instaladas, ou seja, aproximadamente 75% da demanda de energia da empresa. O detalhamento da disposição das placas se encontra no Apêndice C.

Com a aplicação reduzida do número de placas, a potência instalada será reduzida. Assim através da Equação 5 é possível calcular esse valor.

$$P_{T190} = \frac{N_{P190} \times P_T}{N_P} \quad (5)$$

Sendo:

P_{T184} a potência total instalada para 184 painéis (kW);

N_{P192} o número de painéis que cabem no telhado (unidades);

P_T a potência total necessária para atender a demanda da empresa (kW);

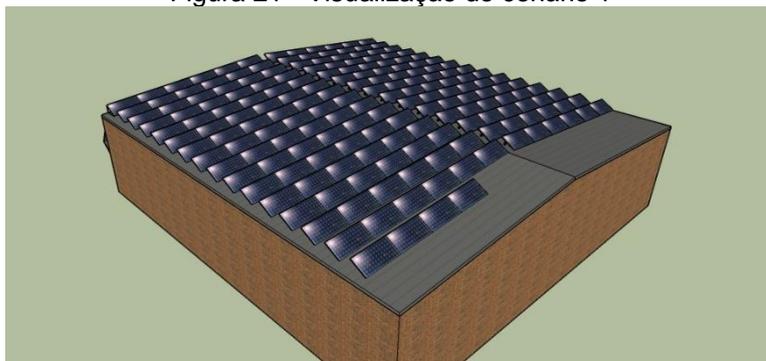
N_P o número de painéis necessários para atender a demanda da empresa (unidades).

$$P_{T184} = \frac{190 \times 83,55}{253}$$

$$P_{T184} = 62,70 \text{ kW}$$

Dessa forma, com a aplicação dos painéis a 22° em relação ao telhado e um distanciamento de 0,62 metros entre cada um, a potência do sistema será de 62,70 kW, produzindo 75,09% da energia necessária para manter a empresa em funcionamento. A Figura 21 apresenta a ilustração dos painéis instalados.

Figura 21 - Visualização do cenário 1



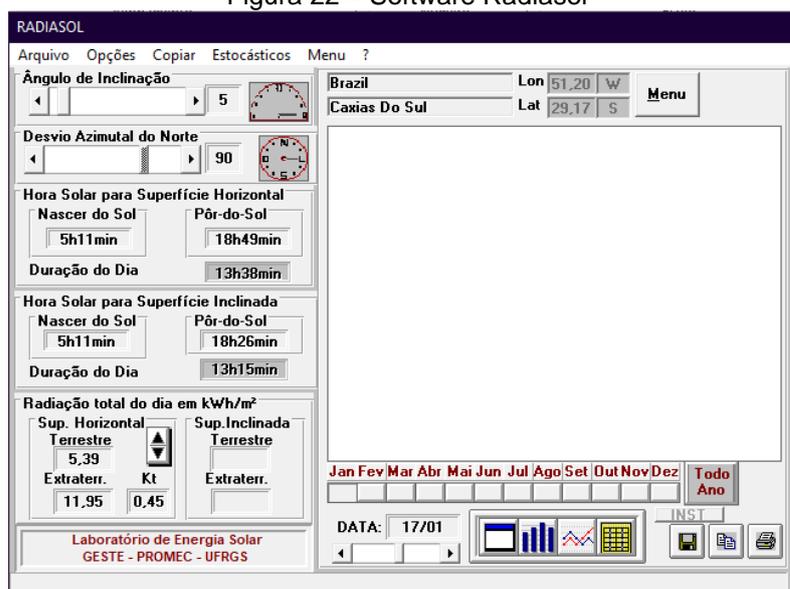
Fonte: A autora (2018).

6.2 PAINÉIS JUNTO AO TELHADO – CENÁRIO 2

O segundo cenário será avaliado com as placas instalados horizontalmente, ou seja, juntas ao telhado. Porém como a empresa está localizada na posição Leste Oeste, a influência de irradiação no local é menor, sendo necessário um maior número de painéis. Os dados de irradiação foram obtidos através do software *Radiasol*, considerando as coordenadas geográficas da empresa e a inclinação do telhado a 5° Leste e Oeste.

A Figura 22 apresenta a configuração do software. A partir dos dados de irradiação mensal obtidos foi então realizada uma média, a qual será utilizada no dimensionamento do sistema.

Figura 22 – Software Radiasol



Fonte: Laboratório de Energia Solar – LABSOL (2018).

A média de irradiação anual com um ângulo de inclinação de 5°, conforme a inclinação do telhado, é de 4,26 kWh/m².d. O rendimento do sistema considerado é de 80% conforme os cálculos do primeiro cenário, sendo possível dessa forma calcular a potência necessária para o sistema através da Equação 1.

$$P_T = \frac{312,15}{4,26 * 0,8}$$

$$P_T = 91,45 \text{ kW}$$

Com a potência calculada é possível obter o número de placas necessárias para o sistema fotovoltaico, a partir da Equação 2, apresentada anteriormente.

$$N_p = \frac{91,45}{0,33}$$

$$N_p = 277,12 \text{ painéis}$$

$$N_p \cong 277 \text{ painéis}$$

A modelo do inversor escolhido para esse cenário será o GSL SERIES Central Grid-tied PV Inverter GSL0100. Na Figura 23 são apresentadas as principais características do modelo e no Anexo B é apresentada a ficha técnica completa.

Figura 23 - Características do inversor

MODEL	GSL0050	GSL0100	GSL0250	GSL0500	GSL0630
INPUT					
Max. DC input power	55KW	110KW	275KW	550KW	690KW
Max. DC input voltage		900Vdc			1000Vdc
MPPT tracking voltage range		450~850Vdc (Rated voltage 576Vdc)			
Number of MPPT tracking		1			
Max. input current	120A	240A	600A	1200A	1440A
OUTPUT					
Rated output power	50KW	100KW	250KW	500KW	630KW
Rated output voltage	270Vac	270Vac	270Vac	270 or 315Vac	315Vac
AC output topology		3Ph+PE			
Output voltage range		1 ± 15% x Normal AC voltage (adjustable ±5%, ±10%, ±15%, ±20%)			
Grid frequency range		50/ 60Hz (±4.5Hz), (adjustable)			
Rated AC output current	107A	214A	535A	1070 or 916A	1155A
Max. AC output current	118A	234A	588A	1176 or 1007A	1212A
Power factor (cosΦ)		1 (0.9 leading - 0.9 lagging) (adjustable)			
Total harmonic current distortion (THDi)		<3%			

Fonte: kstarnewenergy (2018).

O número de módulos ligados em série continua os mesmos do cenário anterior, visto que a tensão de entrada é a mesma do modelo utilizado no cenário 1. Já o número de *strings*, pode ser calculado utilizando a Equação 4.

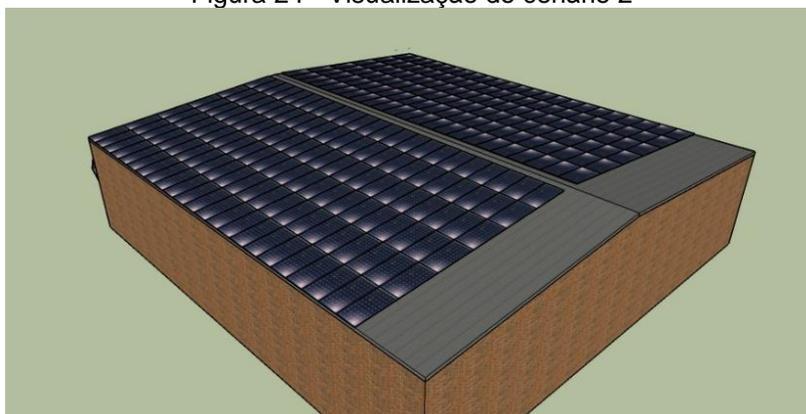
$$N_{strings} = \frac{240}{9,33}$$

$$N_{strings} = 25,72 \text{ strings}$$

$$N_{strings} = 25 \text{ strings}$$

Sendo assim, será o inversor que suporta até 475 painéis. Assim serão instaladas 19 placas para cada combinação em série, resultando em 15 *strings* e 277 placas. Na Figura 24 é apresentada a imagens demonstrativa do cenário 2, como pode ser observado, há um espaço disponível de 2,20 metros, este será dividido a cada duas fileiras de painéis resultando em um espaçamento de 22 centímetros entre as elas, de forma a facilitar limpezas e manutenções. Tal detalhamento é possível ser verificado no Apêndice C.

Figura 24 - Visualização do cenário 2



Fonte: A autora (2018).

Quanto ao condutor considerando-se a corrente de cada painel (8,73 A), que nos painéis ligados em série a corrente se mantém, e que quando cada *string* é ligada em paralelo as correntes são somadas, a corrente resultante para o conjunto é de 130,95 A.

De acordo com a NBR 5410 (ABNT, 2008), os fios condutores que unem o conjunto de placas ao inversor a serem utilizados serão cabos multipolares em

eletroduto de seção circular, embutido em parede termicamente isolante com seção nominal de 70 mm². O mesmo cabo será utilizado na saída do inversor que ligará o mesmo a rede de distribuição.

7. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

O processo de instalação do sistema fotovoltaico envolve diversos fatores, desde a escolha do modelo dos painéis e inversores, até o processo junto a concessionária responsável pela distribuição de energia elétrica. Neste capítulo serão abordados todos os aspectos detalhadamente.

Inicialmente, como apresentado no capítulo 5, o modelo de painel escolhido para o sistema fotovoltaico em ambos os cenários foi da marca GCL modelo GCL-P6/72, e o inversor foi da marca Kstar modelo GSL SERIES Central Grid-tied PV Inverter GSL0050 para o primeiro cenário e o GSL0100. Todos esses equipamentos são certificados pelo INMETRO de forma que atendam as condições básicas de operação. Os fios condutores utilizados serão com seção nominal de 50 mm² para o primeiro cenário e de 70mm² o segundo cenário.

6.1 MONTAGEM MECÂNICA

Após a determinação da configuração dos painéis, do inversor e também do cabeamento, é necessário verificar toda a parte de montagem mecânica do sistema conforme aponta a Figura 25.



Fonte: Eleksolar Innovations (2016).

No caso da empresa Metalúrgica Ltda., o sistema será instalado no telhado de material Aluzinco, sendo necessário ressaltar que para este projeto são apresentados dois cenários diferentes, assim, para os dois sistemas dimensionados serão utilizados dois métodos diferentes de fixação.

Para o primeiro cenário, no qual os painéis são voltados para o norte com inclinação de 22°, será necessária a fixação de uma estrutura metálica para que os

painéis fiquem inclinados, como aponta a Figura 26. Para a fixação de tal estrutura ao telhado será utilizado um suporte metálico de acordo com a Figura 27 e em seguida será colocado o trilho para fixação dos painéis, como mostra a Figura 28.

No segundo cenário, com os painéis na horizontal, ligados diretamente no telhado, não há necessidade da estrutura metálica de inclinação. Assim será utilizado um suporte de fixação conforme mostra a Figura 27 que permitirá a junção do trilho metálico conforme a Figura 28. Após a instalação desses materiais é realizada a instalação dos painéis. A quantidade de cada material para cada sistema será apresentada no orçamento do projeto.

Figura 26 – Estrutura metálica com inclinação



Fonte: Redimax (2018)

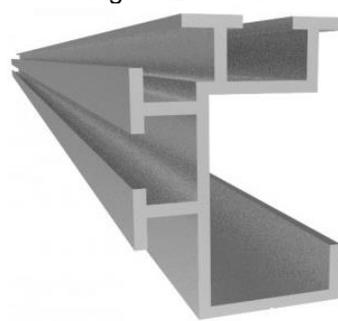
Figura 27 - Suporte metálico



Fonte: NHS Solar (2018).

6.2 MONTAGEM ELÉTRICA

Figura 28 - Trilho



Fonte: Forseti Soluções (2018).

Após a instalação dos painéis na estrutura metálica proposta para cada cenário dimensionado, é realizada a etapa de montagem elétrica, conforme apresenta a Figura 29.

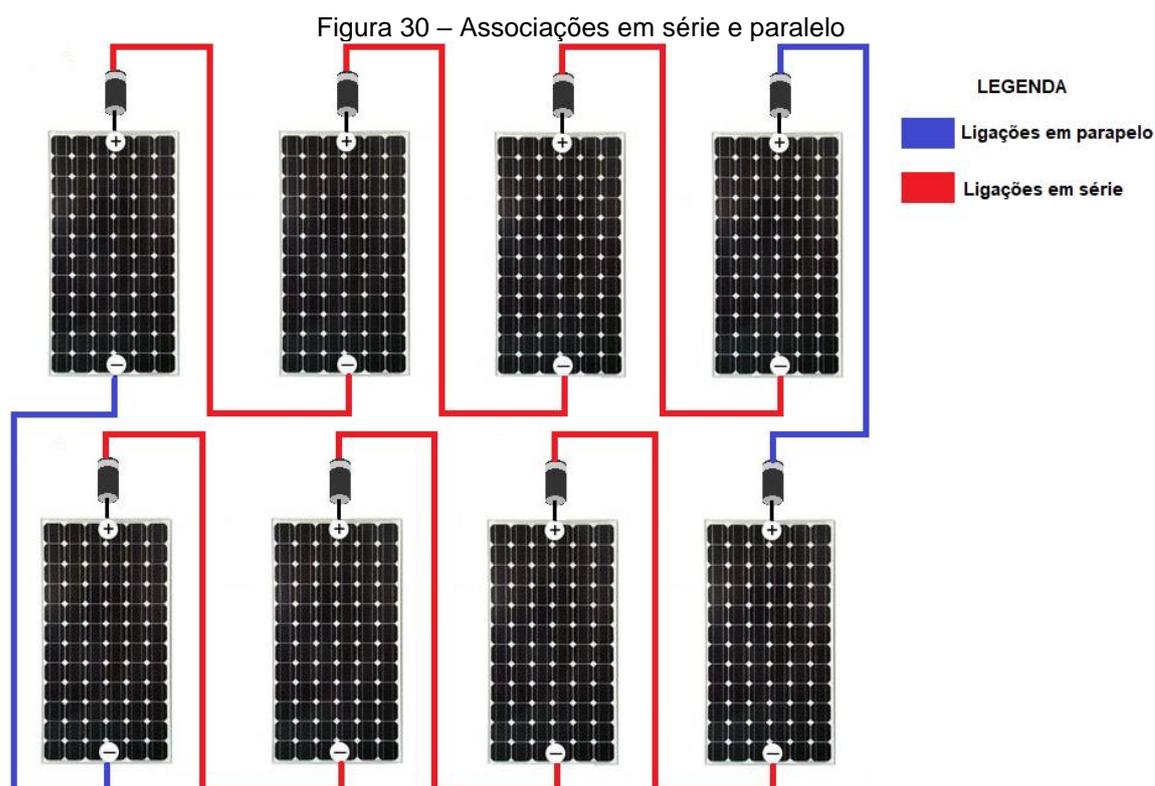
Figura 29 – Etapas da montagem elétrica



Fonte: ElektSolar Innovations (2016).

De acordo com os cálculos apresentados no capítulo 5, o número máximo de associações em série é de 23 painéis, cada combinação é denominada de *strings*, e cada inversor suporta até 12 *strings*. Esses serão ligados em paralelo sendo que a Figura 30 demonstra como serão tais ligações.

Para conectar os painéis entre si e levar a energia elétrica gerada até o inversor serão utilizados conectores do tipo MC4 com proteção IP67, que se trata de uma proteção contra poeira e defeitos de imersão, entre 15 cm e 1 m. Os mesmos estão apresentados na Figura 31.



Fonte: Elaboração da autora (2018).

Figura 31 – Conectores MC4



Fonte: Minha Casa Solar (2018).

Levando em consideração a proteção do sistema fotovoltaico, disjuntores devem ser instalados. Estes são dispositivos de proteção contra curtos e aterramento no cabeamento do sistema, protege-se o sistema tanto onde a energia é corrente contínua quanto na corrente alternada.

Os disjuntores devem ser instalados entre os módulos e o inversor, e entre o inversor e o quadro de distribuição do local. Além disso, o uso de disjuntores é necessário para realização de manutenções e seccionamento do sistema fotovoltaico.

Após a instalação de todo o sistema é necessária a inclusão de um medidor bidirecional, pois este equipamento tem como função básica ler tanto a eletricidade que o consumidor utiliza da concessionária quanto a que ele produz. Por isso, é fundamental a substituição do medidor convencional pelo bidirecional, instalado pela concessionária, que irá realizar a medição do consumo de energia elétrica simultaneamente com à produção do sistema fotovoltaico.

6.3 SEGURANÇA NA EXECUÇÃO

Para a instalação dos sistemas fotovoltaicos é necessário que todos os envolvidos na instalação possuam cursos de segurança. A Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho (SSST) é o órgão nacional que tem a responsabilidade social sobre as NR's (Normas Regulamentadoras) relativas à segurança e medicina do trabalho. Dentre as NR's existentes, o Ministério do Trabalho e Emprego apresenta três normas para realizar instalações fotovoltaicas.

A NR 10 (MTE, p.1, 2016) corresponde a norma para segurança no âmbito de instalações e serviços em eletricidade e estabelece que:

Estabelecer os requisitos e condições mínimas objetivando a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores que, direta ou indiretamente, interajam em instalações elétricas e serviços com eletricidade.

A NR 18 (MTE, p.1, 2015) trata das condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção e tem como finalidade:

Estabelecer diretrizes de ordem administrativa, de planejamento e de organização, que objetivam a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos de segurança nos processos, nas condições e no meio ambiente de trabalho na Indústria da Construção.

Quanto a NR 35 (MTE, p.1, 2016), a mesma atua no âmbito do trabalho em altura e objetiva:

Estabelecer os requisitos mínimos e as medidas de proteção para o trabalho em altura, envolvendo o planejamento, a organização e a execução, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores envolvidos direta ou indiretamente com esta atividade.

6.4 PROCESSO JUNTO A CONCESSIONÁRIA

Para que o sistema fotovoltaico comece a funcionar de forma efetiva é necessário realizar a conexão à rede elétrica pública de distribuição. As Resoluções Normativas 482 (2012) e 687 (2015) da ANEEL, fornecem as diretrizes para tal procedimento em todo o Brasil, e a partir dessas resoluções cada concessionária de energia estabelece seus procedimentos. Na região de Caxias do Sul devem ser seguidos os procedimentos contidos na Norma Técnica GED 15.303, do grupo CPFL energia.

De acordo com a Norma Técnica GED 15.303 as etapas de solicitação ao acesso estão disponíveis no site da concessionária, onde é instruído que seja preenchido o formulário presente no Anexo E da norma acima citada, conforme aponta a Figura 32, além da apresentação da documentação listadas no Anexo 4 da mesma norma.

Figura 32 – Formulário de solicitação de acesso

1 - Identificação da Unidade Consumidora - UC		
Código da UC:	Classe:	
Titular da UC:		
Rua/Av.:	Nº:	CEP:
Bairro:	Cidade:	
E-mail:		
Telefone: ()	Celular: ()	
CNPJ/CPF:		
2 - Dados da Unidade Consumidora		
Potência instalada (kW):	Tensão de atendimento (V):	
Tipo de conexão:	monofásica <input type="checkbox"/>	bifásica <input type="checkbox"/> trifásica <input type="checkbox"/>
Tipo de ramal:	aéreo <input type="checkbox"/>	subterrâneo <input type="checkbox"/>
3 - Dados da Geração		
Potência instalada de geração (kW):		
Tipo da Fonte de Geração:		
Hidráulica <input type="checkbox"/>	Solar <input type="checkbox"/>	Eólica <input type="checkbox"/> Biomassa <input type="checkbox"/> Cogeração Qualificada <input type="checkbox"/>
Outra (especificar):		
4 - Documentação a Ser Anexada		
1. ART do Responsável Técnico pelo projeto elétrico e instalação do sistema de microgeração	<input type="checkbox"/>	
2. Projeto elétrico das instalações de conexão, memorial descritivo	<input type="checkbox"/>	
3. Diagrama unifilar e de blocos do sistema de geração, carga e proteção	<input type="checkbox"/>	
4. Certificado de conformidade do(s) inversor(es) ou número de registro da concessão do Inmetro do(s) inversor(es) para a tensão nominal de conexão com a rede.	<input type="checkbox"/>	
5. Dados necessários ao registro da central geradora conforme disponível no site da ANEEL: www.aneel.gov.br/3cg	<input type="checkbox"/>	
6. Lista de unidades consumidoras participantes do sistema de compensação (se houver) indicando a porcentagem de rateio dos créditos e o enquadramento conforme incisos VI a VIII do art. 2º da Resolução Normativa nº 482/2012	<input type="checkbox"/>	
7. Cópia de instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes (se houver)	<input type="checkbox"/>	
8. Documento que comprove o reconhecimento, pela ANEEL, da cogeração qualificada (se houver)	<input type="checkbox"/>	
5 - Contato na Distribuidora (preenchido pela Distribuidora)		
Responsável/Área:		
Endereço:		
Telefone:		
E-mail:		
Solicitante		
Nome/Procurador Legal:		
Telefone:		
E-mail:		
_____	____/____/____	_____
Local	Data	Assinatura do Responsável

Fonte: CPFL Energia (2018).

A norma ainda apresenta as etapas do processo de liberação do acesso, conforme mostra a Figura 33. Nela é possível observar cada etapa, com o tempo esperado de atendimento para cada uma.

Figura 33 – Etapas do processo de liberação

ETAPA	AÇÃO	RESPONSÁVEL	PRAZO
1) Solicitação de Acesso	(a) formalização, com encaminhamento de documentação, dados e informações pertinentes, bem como estudos realizados	Acessante	—
	(b) recebimento da Solicitação de Acesso	CPFL	—
	(c) solução de pendências.	Acessante	—
2) Parecer de Acesso	(a) emissão do Parecer com as condições de acesso	CPFL	i) para microgerador sem obra na rede da CPFL, até 15 dias após ação 1(b) ou 1(c)
			ii) para microgerador com obra na rede da CPFL, até 30 dias após ação 1(b) ou 1(c)
			iii) para minigerador sem obra na rede da CPFL, até 30 dias após ação 1(b) ou 1(c)
			iv) para minigerador com obra na rede da CPFL, até 60 dias após ação 1(b) ou 1(c)
3) Implantar conexão	(a) solicitação de Vistoria	Acessante	até 120 dias após a ação 2(a)
	(b) execução de Vistoria	CPFL	até 7 dias após a ação 3(a)
	(c) entrega ao acessante do Relatório de Vistoria se houver pendências		até 5 dias após a ação 3(b)
4) Aprovar conexão	(a) adequação dos condicionantes do Relatório de Vistoria	Acessante	a cargo do Acessante
	(b) aprovação da conexão, adequação da medição e início da compensação de energia, liberando o acesso da micro ou minigeração para efetiva conexão	CPFL	até 7 dias após a ação 3(b), se não forem encontradas pendências
5) Contratos	(a) Relacionamento Operacional ou Acordo Operativo	Acessante e CPFL	Relacionamento Operacional até ação 2(a) e Acordo Operativo até ação 4(b)

Fonte: CPFL Energia (2018).

8. ORÇAMENTO

Os custos que envolvem o processo de elaboração de projeto até sua execução são de extrema importância para a análise de viabilidade do sistema, dessa forma no Quadro 1 são descritos os principais itens do projeto com seus custos.

Quadro 1- Orçamento completo

Descrição do produto	Unidade	Valor Unitário	Quantidade CENÁRIO 1	Quantidade CENÁRIO 2	Total CENÁRIO 1	Total CENÁRIO 2
ADMINISTRAÇÃO DE OBRA E DESPESAS GERAIS						
Projeto	unidade	R\$10.000,00	1	1	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00
ART de Projeto	unidade	R\$65,00	1	1	R\$ 65,00	R\$ 65,00
EQUIPAMENTOS FOTOVOLTAICOS						
Painel solar	unidade	R\$837,00	190	277	R\$ 159.030,00	R\$ 231.849,00
Inversor	unidade	R\$32.000,00	1	1	R\$ 32.000,00	R\$ 38.000,00
Conectores	unidade	R\$15,00	190	277	R\$ 2.850,00	R\$ 4.155,00
INSTALAÇÃO ELÉTRICA						
Disjuntor	unidade	R\$50,00	2	2	R\$ 100,00	R\$ 100,00
Cabos	metros	R\$25,00	20	20	R\$ 500,00	R\$ 500,00
ESTRUTURAS						
Suporte metálico	unidades	R\$20,00	380	554	R\$ 7.600,00	R\$ 11.080,00
Trilho metálico	unidades	R\$23,00	190	277	R\$ 4.370,00	R\$ 6.371,00
Estrutura de fixação	unidades	R\$100,00	190	0	R\$ 19.000,00	R\$ -
INSTALAÇÃO E COMISSIONAMENTO						
Instalação (mão de obra)	unidade por painel	R\$130,00	190	277	R\$ 24.700,00	R\$ 36.010,00
TOTAL					R\$ 260.215,00	R\$ 338.130,00

Descrição do produto	Unidade	Valor Unitário	Quantidade CENÁRIO 1	Quantidade CENÁRIO 2	Total CENÁRIO 1	Total CENÁRIO 2
MANUTENÇÃO e OPERAÇÃO						
Mão de Obra de limpeza	hora	R\$10,00	190	277	R\$1.900,00	R\$2.770,00
Produtos para limpeza	unidade	R\$15,00	4	6	R\$60,00	R\$90,00
TOTAL					R\$1.960,00	R\$2.860,00

Fonte: A autora (2018).

9. BENEFÍCIOS

A execução de um projeto de energia fotovoltaica exige uma série de análises quanto aos custos, visto que se trata de um projeto de investimento inicial elevado, bem como aos benefícios resultantes da aplicação. Tais benefícios podem ser tangíveis e intangíveis, e ambos devem ser considerados na tomada de decisão para a aplicação deste tipo de tecnologia.

9.1 BENEFÍCIOS TANGÍVEIS

9.1.1 Redução de custos na fatura de energia elétrica

A redução de custos com a energia elétrica fornecida pela concessionária é um benefício bastante interessante para o empreendedor na tomada de decisão para a aplicação do projeto de energia fotovoltaica. A redução de custos a partir da auto geração de energia elétrica pode ser identificada na fatura, através da compensação de consumo dos créditos gerados.

O cálculo que prevê a redução de custos, compara o total em reais dos itens cobrados na fatura de energia elétrica da unidade consumidora antes da implantação do sistema, com a previsão de faturamento após a instalação. Tais cálculos serão apresentados no capítulo de análise de viabilidade, que será apresentado na sequência (APÊNDICE B).

9.2 BENEFÍCIOS INTANGÍVEIS

9.2.1 Redução de impactos ambientais

A energia produzida a partir de combustíveis fósseis tem como principais poluentes os óxidos de enxofre (SO_x), óxidos de nitrogênio (NO_x), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), monóxido de carbono (CO) e particulados (GOLDEMBERG, 2003). Já a energia produzida pelos sistemas fotovoltaicos não emite nenhum tipo de gás durante a sua operação, e dessa forma, não interferem nas mudanças climáticas que prejudicam o ambiente natural e a saúde humana.

A implantação de hidrelétricas tem como consequências negativas, a alteração do clima (temperatura, umidade relativa, evaporação) e da paisagem, causa a erosão (perda do solo e árvores) e assoreamento. Na flora provoca perda de

biodiversidade, perda de volume útil, eleva concentração de matéria orgânica e consequente diminuição do oxigênio, produz gás sulfídrico e metano, provocando odores e elevação de carbono na atmosfera, e eutrofização das águas. Na fauna provoca perda da biodiversidade, implica em resgate e realocação de animais, e provoca migração de peixes (INATOMI et al, 2005). Quanto a minigeração de energia de fonte fotovoltaica *in loco*, acaba reduzindo a necessidade de instalação de grandes unidades geradoras, evitando o desmatamento e reduzindo a necessidade de alagamento de áreas, bem como a construção de novas linhas de transmissão.

9.2.2 Autonomia na geração de energia

A empresa que possui seu próprio sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica, depende em menores proporções da concessionária de energia. Além disso, após o abatimento do investimento inicial de implementação do sistema, os custos com a fatura de energia elétrica são reduzidos drasticamente, o que é um fator positivo diante de crises financeiras.

9.2.3 Imagem sustentável

Por se tratar de uma energia renovável limpa, quando o empreendedor decide implementar um projeto de energia solar fotovoltaica em sua empresa, a mesma passa a apresentar uma imagem de preocupação com o meio ambiente e o desenvolvimento sustentável, trazendo reconhecimento e visibilidade com a diversificação da matriz energética.

9.2.4 Redução de perdas e aumento da vida útil

A unidade de minigeração instalada próxima ao local de consumo reduz as perdas de potência nas redes de transmissão. Além disso, reduz a demanda de energia proveniente da concessionária, aumentando a vida útil dos sistemas de transmissão.

9.2.5 Estímulo ao comércio de sistemas fotovoltaicos

Junto a imagem de sustentabilidade que a empresa manifesta, ocorre também um estímulo para as demais empresas, comércios, instituições e residências

instalarem o mesmo sistema. Apresentando assim, um potencial de crescimento no setor de serviços e mercado de produtos relacionados a tecnologia fotovoltaica.

10. ANÁLISE DE VIABILIDADE

O estudo de viabilidade deve ser realizado antes da implementação do projeto, contemplando o âmbito técnico, ambiental, social e econômico. Com tal estudo é possível determinar se o projeto é ou não viável diante de cada fator analisado.

Neste trabalho a viabilidade ambiental utilizada será a mesma para ambos os cenários, visto que as mudanças significativas entre os cenários tratam do número de painéis, o que conseqüentemente refletirá de maneira mais efetiva na análise econômica.

10.1 VIABILIDADE TÉCNICA

Para que o projeto de energia solar fotovoltaica em ambos os cenários seja considerado viável do ponto de vista técnico, foi necessário realizar uma análise do local de aplicação do projeto, verificando a parte estrutural, assim como a área útil disponível. Posteriormente a esta etapa se verificou o potencial solar do empreendimento, e, o dimensionamento do projeto, com essas considerações sustentou-se a viabilidade técnica do projeto.

10.2 VIABILIDADE AMBIENTAL

A viabilidade ambiental se dá através da avaliação de todos os benefícios tangíveis e intangíveis do projeto, que levam em consideração desde benefícios econômicos aos sociais e ambientais. Cada benefício foi abordado detalhadamente no capítulo 8 deste projeto.

A partir desta quantificação inicial foi aplicado um método para determinar os impactos ambientais da implementação e operação do projeto. Para tanto foi utilizada a matriz de interação de Leopold modificada, baseada no modelo de Silva e Moraes (2012). No Apêndice A, está anexada a matriz completa.

No Quadro 2 são apresentadas as principais atividades relacionadas ao projeto solar fotovoltaico, e no Quadro 3 os aspectos ambientais mais significativos relacionados a estas atividades, estes dados foram relacionados na matriz gerando pontuações.

Quadro 2 – Atividade relacionadas a implementação de um sistema fotovoltaico

Atividades
Produção
Instalação
Operação

Fonte: A autora (2018).

Quadro 3 - Aspectos relacionados a implementação de um sistema fotovoltaico

Aspectos	
Impactos Negativos	Consumo de metais
	Consumo de materiais
	Geração de resíduos
	Material de limpeza
	Consumo de água
Impactos Positivos	Geração de empregos
	Redução de impactos
	Redução de custos
	Imagem sustentável
	Redução de perdas
	Autonomia de geração
	Preocupação com o meio ambiente

Fonte: A autora (2018).

Para cada um deles foram avaliados três aspectos de magnitude e importância, e para cada um destes três aspectos foram aplicadas notas com determinados valores, como observa-se na tabela 12.

Tabela 3 - Configuração de valores atribuídos na matriz de Leopold

Magnitude		Importância
Extensão	1 - Baixa	Ação
Tamanho da ação ambiental do empreendimento ou área de influência real		Número de efeitos que a ação causa
Periodicidade	2 - Média	Ignição
Duração do efeito da ação. Tempo que o efeito demora para terminar		Tempo que a ação leva para aparecer. É o intervalo de tempo entre a ação e o efeito

Continua.

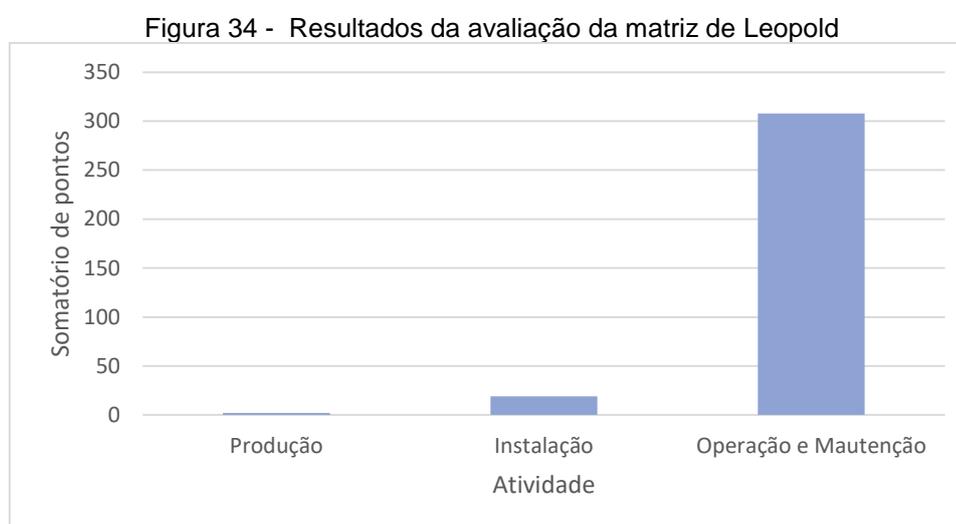
Continuação.

Intensidade		Criticidade
Exuberância da ação impactante. Relação da dimensão da ação com o empreendimento	3 - Alta	Nível de relação entre a ação e o efeito que ela provoca

Fonte: Adaptado de SILVA, MORAES (2012).

Com isso, os valores atribuídos dentro dos aspectos de magnitude e importância foram somados, e após foram multiplicadas as somas dos mesmos, resultando em valores para avaliação.

Os valores encontrados na multiplicação, foram somados para cada atividade, resultando no valor final, que permitiu avaliar quais impactos são mais significativos na implementação do projeto de energia solar fotovoltaica. A Figura 34 apresenta a ordem de impactos positivos e negativos obtidos na avaliação com a matriz de Leopold.

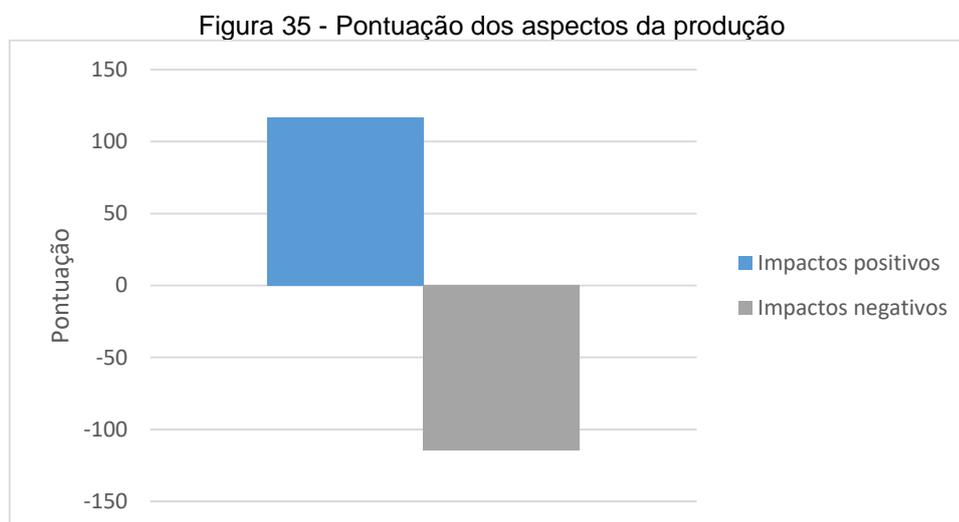


Fonte: A autora (2018).

Os resultados obtidos pela aplicação do método da matriz de Leopold foram de 2 pontos positivos para a produção dos equipamentos do sistema fotovoltaico, 19 pontos positivos para a instalação e 308 pontos positivos para a operação do sistema, o que inclui os processos de manutenção dos equipamentos.

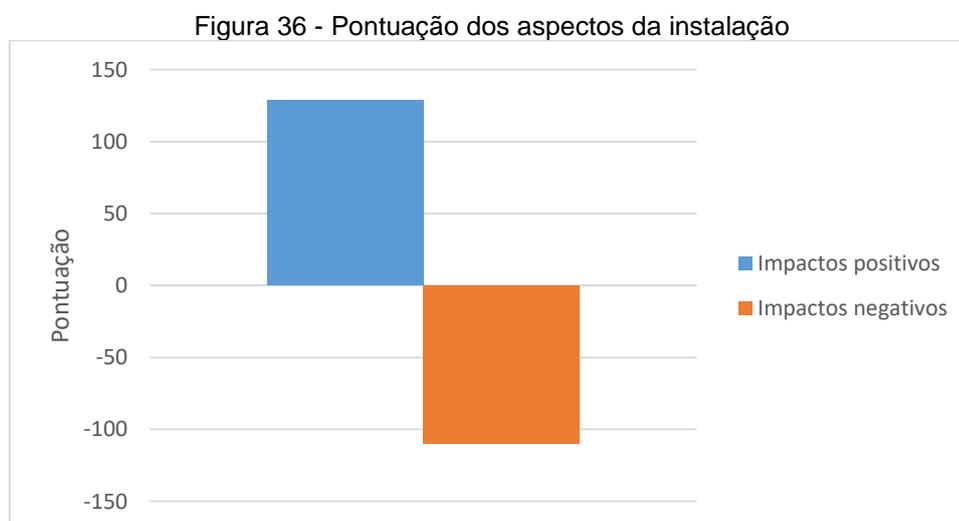
Dessa forma, quando analisada a matriz completa, se verifica que a produção apresenta diversos aspectos negativos, como a utilização de recursos naturais,

consumo de materiais e geração de resíduos, que totalizaram 115 pontos negativos. Entretanto, a produção apresenta aspectos positivos, como geração de empregos, visibilidade e preocupação ambiental somando 117 pontos. Assim, tal atividade apresenta uma pequena vantagem positiva, como demonstra a Figura 35.



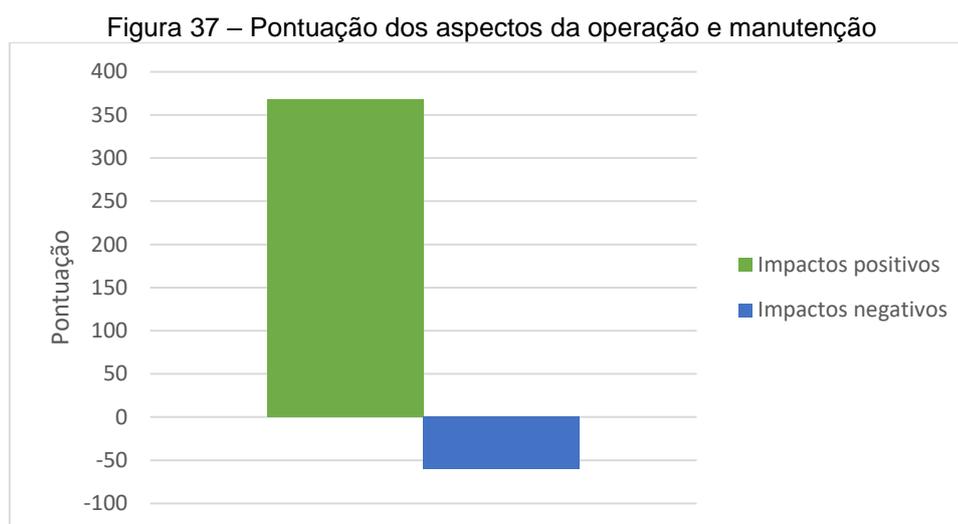
Fonte: A autora (2018).

A segunda atividade avaliada apresentou os aspectos negativos como consumo de matéria prima e materiais, e a geração de resíduos, totalizando 110 pontos. Já os aspectos positivos somaram 129 pontos, levando em consideração a geração de empregos, a imagem e preocupação ambiental, conforme pode ser visualizado na Figura 36. Dessa forma a atividade de instalação apresentou bônus de 19 pontos.



Fonte: A autora (2018).

A atividade de operação e manutenção, apresentou aspectos negativos referentes ao consumo de materiais de limpeza e consumo de água, resultando em 60 pontos. Os aspectos positivos tiveram grande pontuação na redução de impactos ambientais e de custos, imagem sustentável e preocupação com meio ambiente, redução de perdas e autonomia de geração, totalizando 369 pontos, conforme apresenta a Figura 37.



Fonte: A autora (2018).

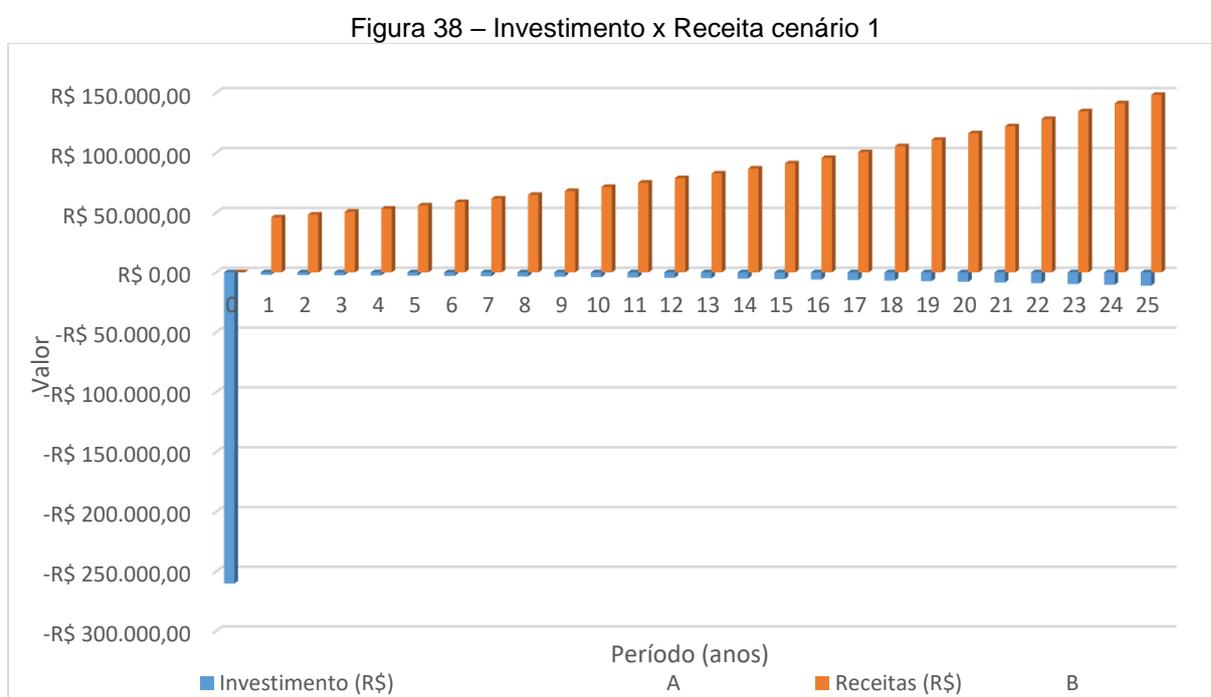
Dessa maneira, a atividade de maior impacto ambiental é a produção dos equipamentos, porém a operação do sistema apresenta uma pontuação muito maior quando comparados os resultados. Assim, de acordo com o método da matriz de Leopold o sistema é viável do ponto de vista ambiental.

10.3 VIABILIDADE ECÔNOMICA

Para as análises de viabilidade econômica para ambos os cenários foram considerados os custos de implantação do projeto do sistema fotovoltaico, bem como os custos de operação e manutenção ajustados pela mediana do valor do IGP-M (Índice Geral de Preços do Mercado) acumulado em cada ano, para os últimos 10 anos, sendo este valor obtido em 7,19%. Para o cálculo do VPL (Valor Presente Líquido) utilizou-se a mediana dos valores acumulados da taxa SELIC (Sistema Especial de Liquidação e de Custódia) para os últimos 10 anos, sendo obtido o valor de 10,66%. Os períodos analisados para os cenários foram em um horizonte de 25 anos e as planilhas completas com os dados de ambos os cenários estão dispostas no Apêndice B.

10.3.1 Cenário 1

O primeiro cenário conta com um número menor de painéis solares, dessa forma, o custo de implementação é menor e a receita (valor economizado na fatura de energia elétrica) também é menor. Assim, na Figura 38 são apresentados os valores relacionados ao investimento e manutenção do projeto, bem como os valores de receita, num período de 25 anos. O valor considerado de economia na fatura de energia elétrica foi baseado na média das faturas da empresa Metalúrgica Ltda. durante um ano, e acrescido 5% ao ano de aumento das tarifas.

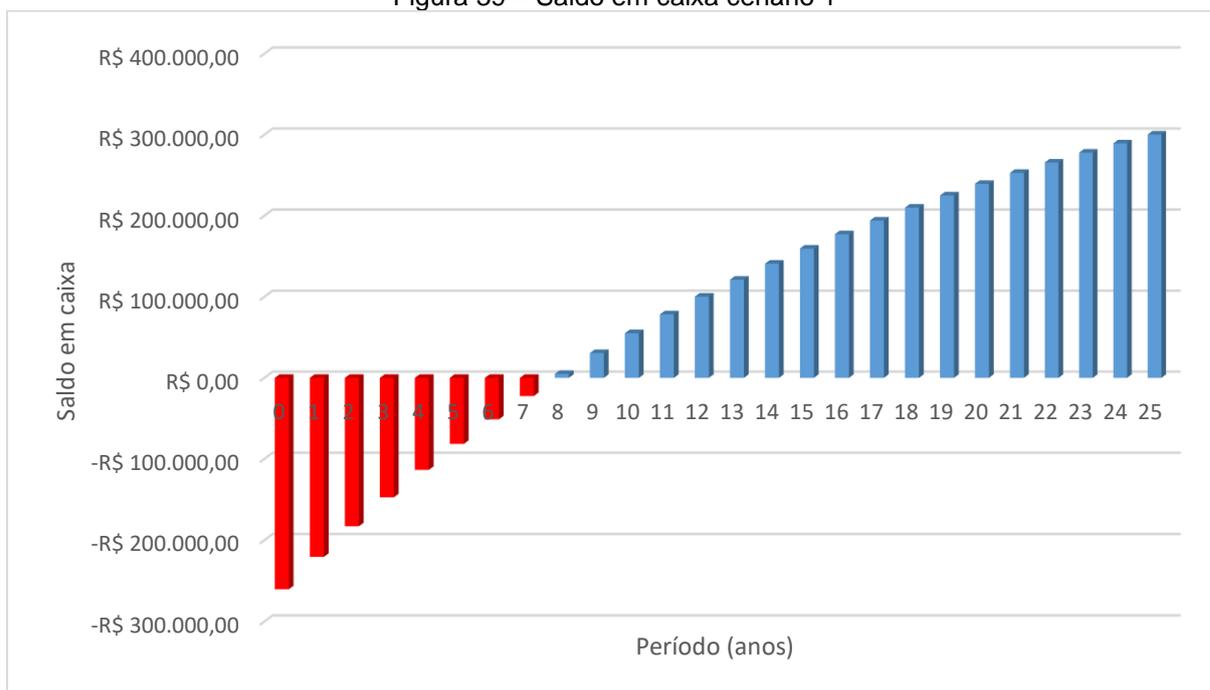


Fonte: A autora (2018).

O fluxo de caixa, que considera todos os gastos e as receitas do projeto do sistema fotovoltaico, onde percebe-se que os valores após a implementação do projeto são positivos, refletindo em saldo positivo no final de cada ano para a empresa.

O fluxo de caixa positivo reflete um saldo em caixa também positivo, como demonstra a Figura 39. Dessa forma, verifica-se que o projeto em questão é viável economicamente, uma vez que ao final de 25 anos a empresa Metalúrgica Ltda. contará com um saldo em caixa de R\$ 2.043.746,26, com um tempo de retorno de 8 anos.

Figura 39 – Saldo em caixa cenário 1



Fonte: A autora (2018).

A Tabela 4 apresenta um resumo da viabilidade econômica do cenário 1, nela é possível verificar que a Taxa Interna de Retorno (TIR) é de aproximadamente 21%. O custo benefício o qual se trata da razão entre os custos e a receita apresentou índice de 0,55, já o Valor Presente Líquido (VPL) que leva em consideração a diferença entre as receitas e o fluxo de caixa, apresentou valor próximo a 288 mil reais.

Tabela 4 - Resumo de Viabilidade Cenário 1

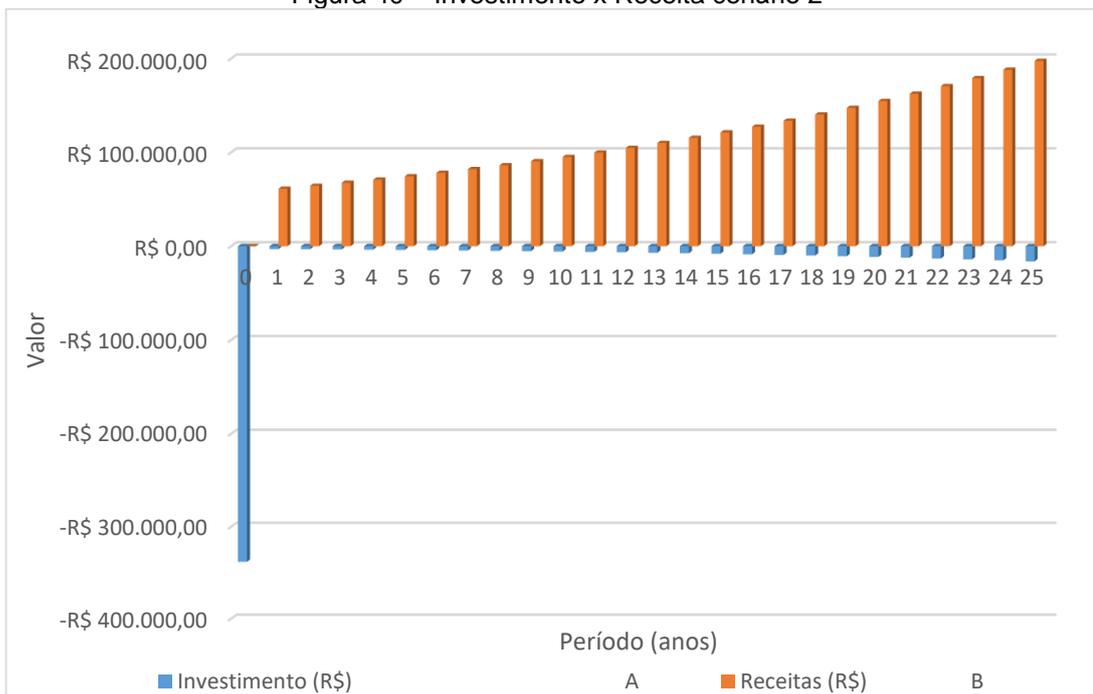
TIR	BENEFÍCIO X CUSTO	VPL	TEMPO DE RETORNO (ANOS)
21,30	0,55	R\$ 288.657,38	Viável a partir do 8ºano

Fonte: A autora (2018).

10.3.2 Cenário 2

O segundo cenário avaliado neste projeto apresenta um maior número de painéis solares, como o investimento inicial é maior, porém com uma receita também maior, visto que a energia produzida pelo sistema atende toda a demanda da empresa. Na Figura 40 é possível observar o comparativo entre os custos do sistema e a receita do mesmo.

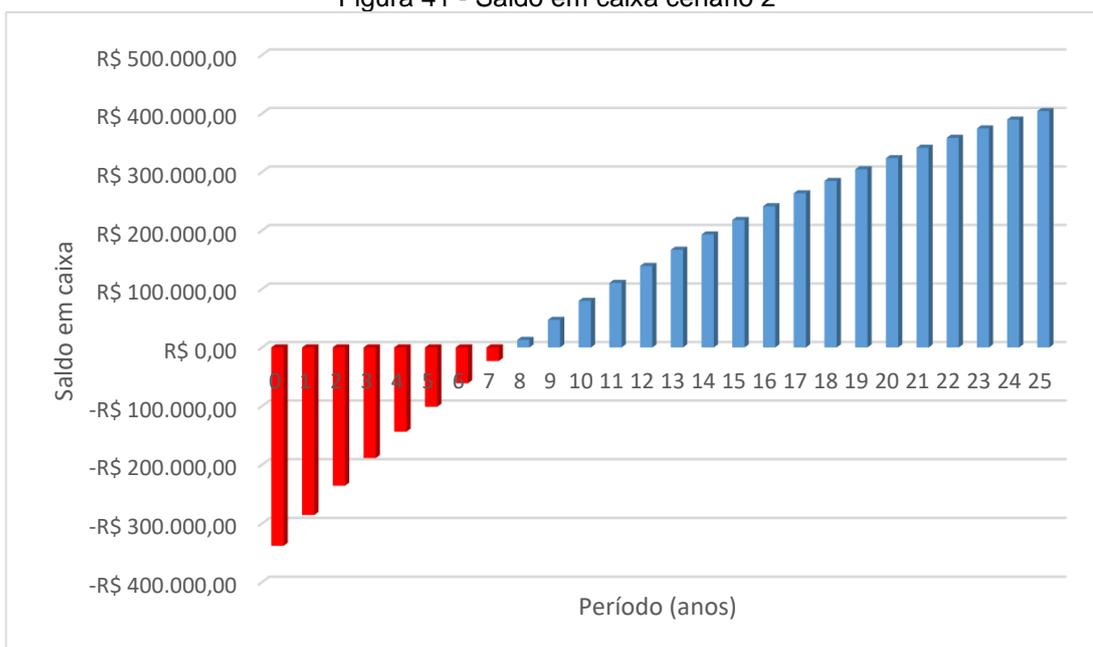
Figura 40 – Investimento x Receita cenário 2



Fonte: A autora (2018).

O fluxo de caixa, se mostra positivo no ano seguinte a implementação do projeto, refletindo em um saldo em caixa positivo, como aponta a Figura 40. Nela é possível verificar que o projeto é viável economicamente, e em 25 anos a empresa Metalúrgica Ltda. contará com um saldo de R\$ 2.873.914,21. Dessa forma o projeto apresenta um tempo de retorno de 8 anos.

Figura 41 - Saldo em caixa cenário 2



Fonte: A autora (2018).

O resumo da análise econômica do cenário 2 é demonstrado na Tabela 5. Nesta tabela possível verificar que a TIR é superior a 21%. Já o custo benefício apresentou índice de 0,54. Quanto ao VPL foi possível verificar valor próximo a 379 mil reais.

Tabela 5 - Resumo da análise de viabilidade cenário 2

TIR	BENEFÍCIO X CUSTO	VPL	TEMPO DE RETORNO (ANOS)
21,65%	0,54	R\$ 379.761,09	Viável a partir do 8º ano

Fonte: A autora 2018.

9.4 CONSIDERAÇÕES DA ANÁLISE DE VIABILIDADE

De acordo com os dados observados anteriormente, tanto para a análise de viabilidade técnica, ambiental e econômica, o projeto do sistema fotovoltaico para a empresa Metalúrgica Ltda. se demonstra viável.

Quanto à análise de viabilidade ambiental, conforme comentado, não existe a necessidade de separação por cenários, visto que o princípio de ambos é o mesmo, sendo a única diferença é o número de painéis solares e tendo em vista o tamanho do projeto, é uma diferença desimportante.

Considerando os diversos benefícios tangíveis e intangíveis do projeto após a implementação, os aspectos negativos perdem valor, tornando o projeto para ambos os cenários viável sócio ambientalmente.

Quanto a análise de viabilidade técnica, é possível verificar que o projeto para ambos os cenários apresenta um tempo de retorno de 8 anos, sendo considerada a vida útil de 25 anos para os painéis solares. Assim o projeto também é considerado viável economicamente.

11. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O consumo de energia de uma indústria do ramo metalmeccânico do porte da empresa Metalúrgica Ltda. é relativamente alto, e a busca por fontes de energias

limpas e renováveis é cada vez mais intensa, visando a redução dos impactos ambientais causados pelas atuais fontes de energia elétrica e a economia na fatura de energia. Dessa forma, a energia solar fotovoltaica é a melhor alternativa para locais urbanos, em que a área livre disponível é escassa.

A empresa Metalúrgica Ltda. apresenta um consumo médio mensal superior a 9.000 kWh, demandando uma quantidade elevada de placas fotovoltaicas. Além disso, o pavilhão da empresa está localizado na posição Leste-Oeste, por esses motivos foram propostos dois diferentes cenários de aplicação do projeto.

O primeiro se trata de um projeto com os painéis solares direcionados para o Norte, levando em consideração o ângulo de incidência da maior irradiação. Dessa forma, a irradiação solar é mais alta, necessitando de um menor número de painéis, entretanto fatores como sombreamento entre os painéis, acabam interferindo na área necessária para a aplicação do projeto. No caso da indústria de estudo, tal fator levou a aplicação de 75% do sistema instalado, por falta de área do telhado para aplicação do sistema completo. De acordo com a análise de viabilidade, tal cenário se demonstrou viável no âmbito técnico, social, ambiental e econômico com um tempo de retorno de 8 anos.

O segundo cenário foi projetado com os painéis junto ao telhado, considerando apenas essa inclinação, logo a posição dos painéis foi Leste-Oeste, alterando o valor da irradiação solar. Com o valor da irradiação menor, o número de painéis solares aumentou, entretanto neste cenário, como os painéis não foram colocados no ângulo de maior irradiação não ocorreu o problema do sombreamento entre os painéis. Dessa maneira, a área disponível foi suficiente para aplicação dos módulos, suprimindo toda a demanda da empresa. Da mesma forma ao cenário 1, tal projeto foi considerado viável em todos os âmbitos e apresentou um tempo de retorno de 8 anos.

Analisando detalhadamente cada cenário, se observa que ambos apresentam viabilidade de implementação, sendo que o investimento inicial consequentemente interfere no tempo de retorno deste investimento. No ponto de vista ambiental, o primeiro cenário requer menor consumo de matéria prima e consequentemente menor

geração de resíduos na etapa de produção, porém na operação e manutenção se observa a necessidade de maior consumo de energia da concessionária.

Já no segundo cenário o impacto ambiental na produção é maior, porém o consumo de energia da concessionária a longo prazo é menor, e a autonomia de geração da empresa se torna maior. Como se defende a aplicação de um sistema fotovoltaico de geração de energia para a independência do sistema convencional de fornecimento de energia, a melhor opção para este projeto, seria o cenário 2.

REFERÊNCIAS

ABINEE, June. **Propostas para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira**. Site da Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica, 2012. Disponível em < <http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.Pdf>>. Acesso em 25 ago. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. Brasília, 2002.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Resolução Normativa n. 414, de 9 de setembro de 2010. Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>>. Acesso em: 29 abr. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Resolução Normativa n. 482, de 17 de abril de 2012. Brasília, 2012; Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 29 abr. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Resolução Normativa nº 538, de 15 de dezembro de 2015. Brasília, 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/prt2015538mme.pdf>>. Acesso em: 29 abr. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Resolução Normativa n. 687, de 24 de novembro de 2015. Brasília, 2015; Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 29 abr. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Atlas Brasileiro de Energia Solar. Brasília, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. Brasília, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. São Paulo: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10899**: Energia solar fotovoltaica — Terminologia. São Paulo: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11704**: Sistemas Fotovoltaicos — Classificação. São Paulo: ABNT, 2008.

ATLAS Socioeconômico Rio Grande do Sul: Geração e Transmissão de Energia Elétrica 2017. Disponível em: <<http://www.atlassocioeconomico.rs.gov.br/geracao-e-transmissao-de-energia>>. Acesso em: 23 mar. 2018.

BARBOSA, Márcio Nora; PINTO, Paulo Renato Lessa. Estudo do setor metal-mecânico gaúcho através do comércio intra-indústria no período de 1989 a 2005. **Porto Alegre**, 2008.

BRASIL. Decreto-Lei nº 168/99, de 28 de maio de 1999. Brasília, 1999. Disponível em: <<https://dre.pt/pesquisa/-/search/323075/details/maximized>>. Acesso em: 29 abr. 2018.

BRASIL. Constituição Federal (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm>. Acesso em: 29 abr. 2018.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Política Nacional do Meio Ambiente**. Brasília, 1981 Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm>. Acesso em: 29 abr. 2018.

BRASIL. Lei nº 9.478, de 06 de agosto de 1997. **Política Energética nacional**. Brasília, 1997 Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/l9478.htm>. Acesso em: 29 abr. 2018.

BRASIL. Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002. Brasília, 2002. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/Ccivil_03/leis/2002/L10438.htm>. Acesso em: 29 abr. 2018.

BRASIL. Lei nº 13.186, de 11 de novembro de 2015. **Política de Educação para o Consumo Sustentável**. Brasília, 2015. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/L13186.htm>. Acesso em: 29 abr. 2018.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 10 - Segurança em Instalações e serviços em eletricidade. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2016. Disponível em: < <http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR10.pdf> >. Acesso em: 22 set. 2018.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 18 - Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção, 2015. Disponível em: < http://www.trtsp.jus.br/geral/tribunal2/LEGIS/CLT/NRs/NR_18.html >. Acesso em: 22 set. 2018.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 35 - Trabalho em Altura, 2016. Disponível em: <<http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr35.htm>>. Acesso em: 22 set. 2018.

CÂMARA, Carlos F. **Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. Universidade Federal de Lavras, UFLA, MG, 2011.

CAXIAS DO SUL. SECRETARIA MUNICIPAL DO PLANEJAMENTO - SEPLAN. (Org.). **GeoCaxias: Mapa Público**. 2018. Disponível em: <<http://geopublico.caxias.rs.gov.br:8814/geocaxias/map?config=src/webgis/config/map/config-all.xml>>. Acesso em: 01 maio 2018.

CENTRO ESTADUAL DE METEOROLOGIA – CEMETERS. Atlas Climático Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011;

CPFL ENERGIA: Normas técnicas. Normas técnicas. 2018. Disponível em: <<https://www.cpfl.com.br/atendimento-a-consumidores/orientacoes-tecnicas/publicacoes-tecnicas/Paginas/normas-tecnicas.aspx>>. Acesso em: 21 abr. 2018.

CRESESB - CENTRO DE REFERÊNCIAS PARA AS ENERGIAS SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE S.BRITO (Brasil) (Org.). **Potencial Solar - SunData v 3.0**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>>. Acesso em: 06 maio 2018.

COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ. **GED 15303**: Conexão de Micro e Minigeração Distribuída sob Sistema de Compensação de Energia Elétrica. [São Paulo]: Cpfl, 2016. Disponível em: <<http://sites.cpfl.com.br/documentos-tecnicos/GED-15303.pdf>>. Acesso em: 29 abr. 2018.

ELEKTSOLAR INNOVATIONS. Manual de Instalação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede. São José, 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Anuário Estatístico de Energia Elétrica. Rio de Janeiro, 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Balanço Energético Nacional. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2012.pdf> Acesso em: 12 mai. 2018.

DIMENSIONAMENTO Sistema Solar Fotovoltaico Passo a Passo. Fortaleza: Fotaic Energia Solar, 2017. Online, (14:54 min). Son., color. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=i5NG_wHAodk>. Acesso em: 10 jun. 2018.

FORSETI SOLUÇÕES. **Perfil em Alumínio para Fixação de Módulos Fotovoltaicos**. 2018. Disponível em: <https://loja.forsetisolucoes.com.br/index.php?route=product/product&product_id=56>. Acesso em: 15 set. 2018.

GCL-POLY Energy Holdings Limited. 2018. Disponível em: <<http://www.gcl-poly.com.hk/en/index.php>>. Acesso em: 12 maio 2018.

GOLDEMBERG, J; VILLANUEVA, L. D. Energia. **Meio Ambiente & Desenvolvimento**. Edusp. São Paulo, 2003.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos avançados**, v. 21, n. 59, p. 7-20, 2007.

JOSÉ CARLOS DE SOUZA GUEDES (Brasil). Eletrobras (Org.). **Manual de Tarifação da Energia Elétrica**. 2011. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Manual de Tarif En El - Procel_EPP - Agosto-2011.pdf](http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Manual_de_Tarif_En_El_Procel_EPP_-_Agosto-2011.pdf)>. Acesso em: 11 mai. 2018.

JUNK, Wolfgang J.; MELLO, J. A. S. Impactos ecológicos das represas hidrelétricas na bacia amazônica brasileira. **Estudos avançados**, v. 4, n. 8, p. 126-143, 1990.

KSTAR New Energy. 2018. Disponível em: <http://www.kstarnewenergy.com/solar_inverter.html>. Acesso em: 19 maio 2018.

INATOMI, Thais Aya Hassan; UDAETA, Miguel Edgar Morales. Análise dos impactos ambientais na produção de energia dentro do planejamento integrado de recursos. Brasil Japão. Trabalhos, p. 189-205, 2005.

LABORATÓRIO DE ENERGIA SOLAR - LABSOL (Porto Alegre). Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. RADIASOL2: Radiação Solar. 2018. Disponível em: <<http://www.solar.ufrgs.br/>>. Acesso em: 25 ago. 2018.

LOYS, Isabelle de. **Utilização de Energia Solar Fotovoltaica em Áreas Urbanas: O Exemplo da Ecoducha Solar**. 2012. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Engenharia Urbana, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://dissertacoes.poli.ufrj.br/dissertacoes/dissertpoli169.pdf>>. Acesso em: 08 abr. 2018.

LUSOSOL. Calculador a distância mínima entre fileiras de colectores: Triângulos Rectângulos. Triângulos Rectângulos. 2018. Disponível em: <<http://www.lusosol.com/fileiras.htm>>. Acesso em: 08 ago. 2018.

MARQUES, Vanessa da Costa. **Modelagem de Pannel Fotovoltaico Submetido a Sombreamento e Conectado à Rede Elétrica Monofásica**. 2017. 96 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Centro de Energias Alternativas e Renováveis, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017. Disponível em: <http://www.cear.ufpb.br/arquivos/cgee/TCC/TCC_-_Vanessa_Marques_-_versão_final.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2018.

MINHA CASA SOLAR. **Conector MC4**. 2018. Disponível em: <<https://www.minhacasasolar.com.br/produto/conector-mc4-par-macho-femea-iwiss-mc40406-78929>>. Acesso em: 16 set. 2018.

NHS SOLAR. **Estruturas de Fixação – Telhado Metálico**. 2018. Disponível em: <<https://nhssolar.com.br/produto/estruturas-de-fixacao-telhado-metalico/>>. Acesso em: 15 set. 2018.

ONS - OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (Org.). **Sobre o ONS o sistema em números: Capacidade instalada no SIN - 2016 / 2021**. 2016. Disponível em: <<http://ons.org.br/pt/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

ONU - Organização das Nações Unidas. **Energia Limpa e Acessível**. 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/ods7/>>. Acesso em: 01 maio 2018.

PEREIRA, Enio Bueno et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. ed. São Paulo: Inpe, 2017.

PORTAL SOLAR. **Como funciona o Pannel Solar Fotovoltaico**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/como-funciona-o-pannel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

REDIMAX **Sistema de Energia Solar**: Kit de Montagem Redimax para Solo/Laje – 3 Painéis Fotovoltaicos. Kit de Montagem Redimax para Solo/Laje – 3 Painéis Fotovoltaicos. 2018. Disponível em: <<https://redimax.com.br/produto/kit-de-montagem-redimax-para-sololaje-3-paineis-fotovoltaicos/>>. Acesso em: 15 set. 2018.

RUTHER, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Editora UFSC, 2004.

SEBRAE; TONIAZZO Rubilar (Org.). **Cenários Prospectivos Metal Mecânico brasileiro em 2018**: Cenários e projeção estratégica. 2017. Disponível em: <[http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/1f6446ba395dee2b82e10f87dc1f4d0a/\\$File/7487.pdf](http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/1f6446ba395dee2b82e10f87dc1f4d0a/$File/7487.pdf)>. Acesso em: 06 abr. 2018.

SILVA, A.; MORAES, J. **Proposta de uma matriz para avaliação de impactos ambientais em uma indústria plástica**. Bento Gonçalves-RS, 2012.

SUNEARTHTOOLS: **Ferramentas para designers e consumidores de energia solar**. Ferramentas para designers e consumidores de energia solar. 2018. Disponível em: <https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=pt#top>. Acesso em: 08 ago. 2018.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. **Energia renovável**: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica. EPE: Rio de Janeiro, 2016.

URBANETZ JUNIOR, J.; CASAGRANDE JR, E.; MÁXIMO TIEPOLO, G.. **Análise do desempenho de dois anos de operação do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica do Escritório Verde da UTFPR**. V Congresso Brasileiro de Energia Solar, Recife, 31 a 03 de abril de 2014

VICHI, Flavio Maron et al. Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 757-767, 2009.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia solar fotovoltaica**: conceitos e aplicações. **São Paulo: Érica**. 2ªed., 2016.

VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia Solar Fotovoltaica**: Conceitos e Aplicações. São Paulo: Érica Ltda, 2013.

ZILLES, Roberto et al. Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. **Oficina de Textos**, 2012.

ANEXO A

ANEXO A - FICHA TÉCNICA DO PAINÉL FOTOVOLTAICO



GCL-P6/72

HIGH EFFICIENCY
MULTICRYSTALLINE MODULE

GCL-P6/72 310-330 Watt

330^W

MAXIMUM POWER OUTPUT

17.0%

MAXIMUM MODULE EFFICIENCY

0~+5^W

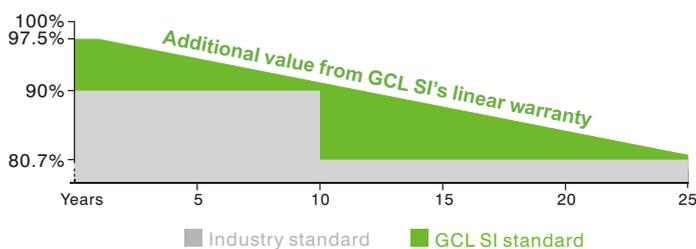
POWER OUTPUT GUARANTEE

Trust GCL to Deliver Reliable Performance Over Time

- World-class manufacturer of crystalline silicon photovoltaic modules
- Fully automatic facility and world-class technology
- Rigorous quality control to meet the highest standard:
ISO9001:2008, ISO 14001: 2004 and OHSAS: 18001 2007
- Tested for harsh environments (salt mist, ammonia corrosion and sand blowing test: IEC 61701, IEC 62716, DIN EN 60068-2- 68)
- Long term reliability tests
- 2*100% EL inspection ensuring defect-free modules

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

10 Years Product Warranty 25 Years Linear Power Warranty



Ideal choice for large scale ground installation



High conversion efficiency due to top quality wafer and advanced cell technology



Selected encapsulating material and stringent production process control ensure product highly PID resistant and snail trails free



Passed sand blowing test, salt mist test and ammonia test; flexible for harsh environments



Optimized system performance by module level current sorting



Special cell process ensures great performance in low irradiance environment



Additional yield and easy maintenance with high transparent self-cleaning glass



According to UL 1703



Bringing Green Power to Life

GCL-P6/72

HIGH EFFICIENCY MULTICRYSTALLINE MODULE

ELECTRICAL SPECIFICATION (STC)

TYPE (STC)	GCL-P6/72 310	GCL-P6/72 315	GCL-P6/72 320	GCL-P6/72 325	GCL-P6/72 330
Maximum Power P_{max} (W)	310	315	320	325	330
Maximum Power Voltage V_m (V)	37	37.2	37.4	37.6	37.8
Maximum Power Current I_m (A)	8.38	8.47	8.56	8.64	8.73
Open Circuit Voltage V_{oc} (V)	45.4	45.6	45.8	46	46.2
Short Circuit Current I_{sc} (A)	8.99	9.08	9.17	9.24	9.33
Module Efficiency (%)	16.0	16.2	16.5	16.7	17.0
Power Output Tolerance P_m (W)	0~+5				

Values at Standard Test Conditions STC (Air Mass AM1.5, Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C).

ELECTRICAL DATA (NOCT)

Maximum Power P_{max} (W)	224.45	227.14	231.2	234.61	237.71
Maximum Power Voltage V_m (V)	33.6	33.8	34.1	34.3	34.5
Maximum Power Current I_m (A)	6.68	6.72	6.78	6.84	6.89
Open Circuit Voltage V_{oc} (V)	42.2	42.4	42.5	42.7	42.9
Short Circuit Current I_{sc} (A)	7.19	7.30	7.38	7.46	7.58

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

MECHANICAL DATA

Solar Cells	Poly 156.75×156.75mm (6 inches)
Cell Orientation	72 Cells (6×12)
Module Dimensions	1956×992×35mm (77 × 39.05 × 1.38 inches)
Weight	22.2 kg
Glass	High transparency solar glass 3.2mm (0.13 inches)
Backsheet	White
Frame	Silver, anodized aluminium alloy
J-Box	IP68 Rated
Cables	4.0mm ² (0.006 inches ²), 1200mm (47.2 inches)
Connector	Original MC4 or Compatible
Wind Load/ Snow Load	2400Pa/6000Pa*

*For more details please check the installation manual of GCLSI

TEMPERATURE RATINGS

Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45 ± 2°C
Temperature Coefficient of P_{MAX}	-0.41%/°C
Temperature Coefficient of V_{oc}	-0.32%/°C
Temperature Coefficient of I_{sc}	+0.055%/°C

MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40~+85°C
Maximum System Voltage	1000V DC (IEC)
Max Series Fuse Rating	15A

WARRANTY

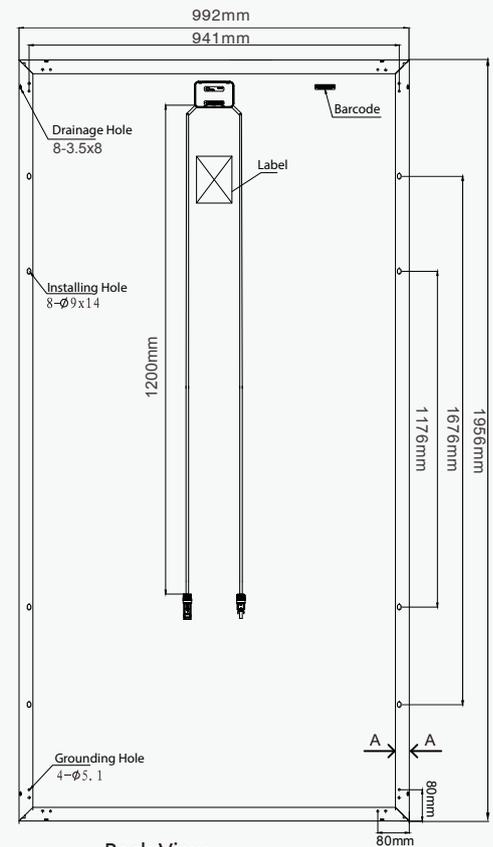
10 years Product Workmanship Warranty
25 years Linear Power Warranty

PACKAGING CONFIGURATION

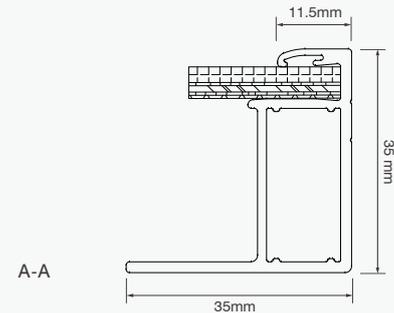
Modules per box: 30 pieces
Modules per 40'HD container: 720 pieces

(Please refer to GCL standard warranty for details)

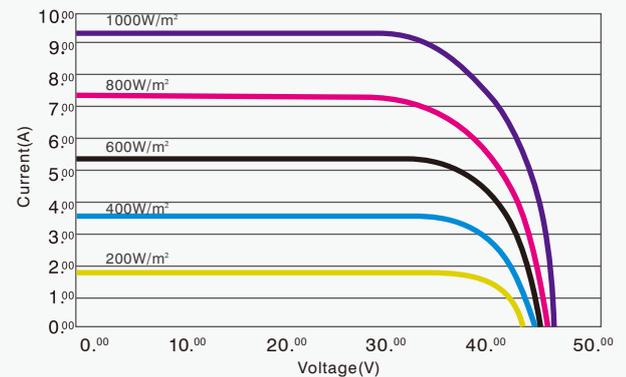
MODULE DIMENSION



Back View



I-V CURVES OF MODULE(330W)



Excellent performance under weak light conditions: at an irradiance intensity of 200W/m² W/m (AM 1.5, 25 °C), 96.5% or higher of the STC efficiency (1000 W/m²) is achieved



Bringing Green Power to Life

<http://en.gclsi.com>

GCL-EN-P6/72-2017-V1.0

CAUTION: READ INSTALLATION MANUAL BEFORE USING THE PRODUCT

©2016 GCL System Intergration Technology Co., Ltd. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

ANEXO B

ANEXO B - FICHA TÉCNICA DO INVERSOR

GSL SERIES

Central Grid-tied PV Inverter

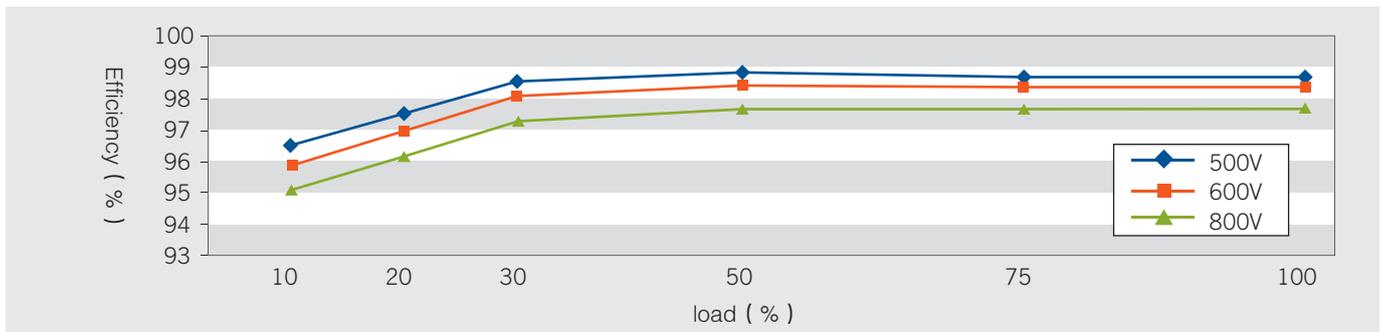
50KW-630KW

- More than 25 years of life span
- Transformer-less design and compact in size
- System with strong compatibility, easy to extend
- Good cooling system and safety design
- MPPT efficiency > 99.9%
- Maximum efficiency > 98.7%
- Euro. efficiency > 98.2%
- Standby(night time) losses < 10W
- Redundancy control circuits designed-in and over-size metalized film capacitors are used to guarantee its safe operation and system reliability
- Reactive power adjustable
- Unique Low Voltage Ride Through (LVRT) function, anti-islanding and output abnormal voltage protection secures its safe
- Advanced DSP Control makes data more accurate
- Active power adjustable continuous full range (0~100%)
- Support a variety of communication interfaces
- Perfect protection functions
- Support SVG function, the realization of power reactive compensation at night

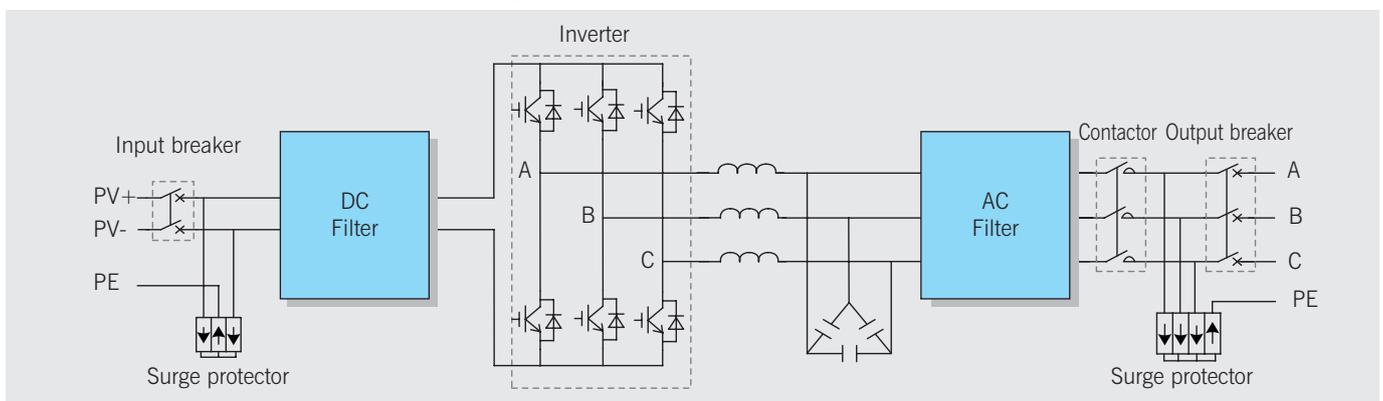


CE、TUV、LVRT

GSL0500 Efficiency curve



GSL0050 / GSL0100 / GSL0250 Circuit diagram

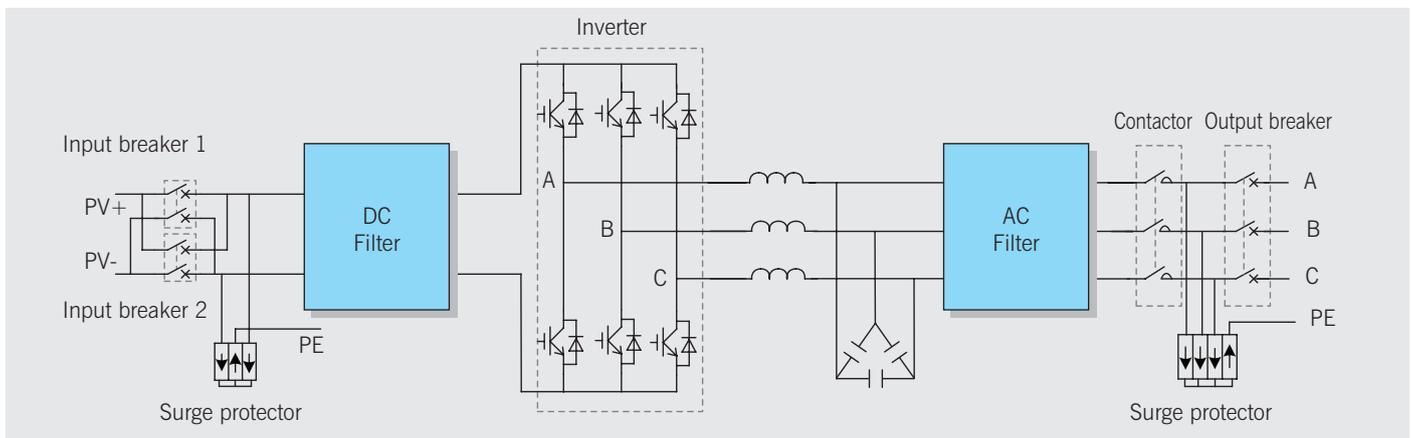


GSL series Technical Specifications(Transformer-less)

MODEL	GSL0050	GSL0100	GSL0250	GSL0500	GSL0630
INPUT					
Max. DC input power	55KW	110KW	275KW	550KW	690KW
Max. DC input voltage	900Vdc				1000Vdc
MPPT tracking voltage range	450~850Vdc (Rated voltage 576Vdc)				
Number of MPPT tracking	1				
Max. input current	120A	240A	600A	1200A	1440A
OUTPUT					
Rated output power	50KW	100KW	250KW	500KW	630KW
Rated output voltage	270Vac	270Vac	270Vac	270 or 315Vac	315Vac
AC output topology	3Ph+PE				
Output voltage range	$(1 \pm 15\%) \times$ Normal AC Voltage (adjustable $\pm 5\%, \pm 10\%, \pm 15\%, \pm 20\%$)				
Grid frequency range	50/ 60Hz ($\pm 4.5\text{Hz}$), (adjustable)				
Rated AC output current	107A	214A	535A	1070 or 916A	1155A
Max. AC output current	118A	234A	588A	1176 or 1007A	1212A
Power factor (cos Φ)	1 (0.9 leading – 0.9 lagging) (adjustable)				
Total harmonic current distortion (THDi)	<3%				
SYSTEM FEATURES					
Max. efficiency	>98.0%	>98.0%	>98.3%	>98.7%	>98.7%
Euro efficiency	>97.6%	>97.6%	>97.8%	>98.2%	>98.2%
MPPT efficiency	>99%				
Standby (night time) losses	<10W				
Cooling	Forced air cooling				
Communication interface	RS485 , external Ethernet (optional)				
ENVIRONMENTAL					
Operating temperature	-40°C~55°C				
Humidity range	0~95% (non-condensing)				
Altitude	3000m				
Noise level	<58dB	<58dB	<60dB	<60dB	<60dB
Protection rating	IP20				
PHYSICAL					
Dimension W×H×D (mm)	600×1600×945	835×1850×945	1200×1850×945	1600×1850×945	1600×1850×945
Net weight (kg)	310	470	815	1350	1370
STANDARDS					
Safety	IEC/EN62109-1,IEC/EN62109-2, CNCA/CTS0004 :2009A,CNCA/CTS0006-2010,LVRT,etc				
EMC	IEC/EN61000-6-2, IEC/EN61000-6-4,etc				

Specifications subject to change without prior notice.

GSL0500 / GSL0630 Circuit diagram



GSL SERIES

Central Grid-tied PV Inverter

50KW-630KW

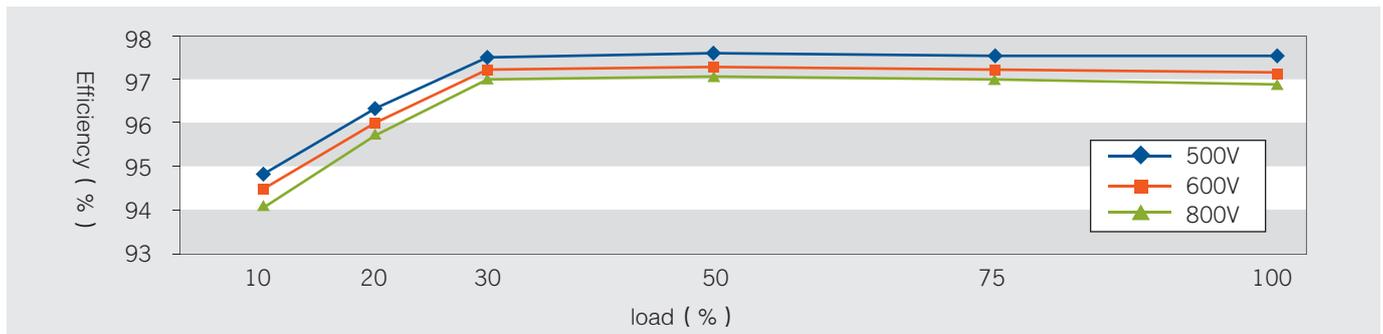


- More than 25 years of life span
- System with strong compatibility, easy to extend
- Good cooling system and safety design
- MPPT efficiency > 99.9%
- Maximum efficiency > 98.1%
- Euro. efficiency > 97.6%
- Standby(night time) losses<10W
- Redundancy control circuits designed-in and over-size metalized film capacitors are used to guarantee its safe operation and system reliability
- Reactive power adjustable
- Unique Low Voltage Ride Through(LVRT)function,anti-islanding and output abnormal voltage protection secures its safe
- Advanced DSP Control makes data more accurate
- Active power adjustable continuous full range (0~100%)
- Support a variety of communication interfaces
- Perfect protection functions
- Support SVG function,the realization of power reactive compensation at night

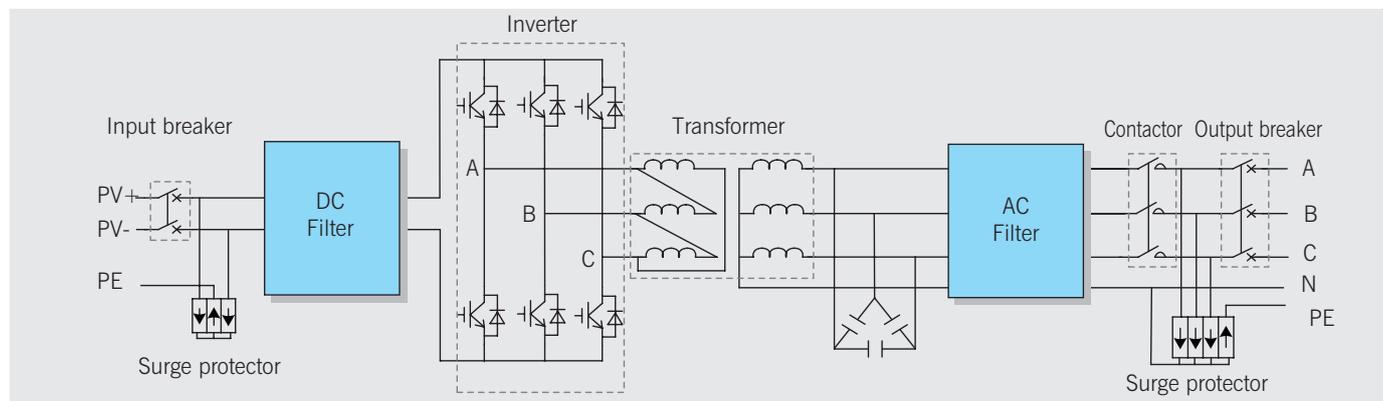


CE、TUV

GSL0500T Efficiency curve



GSL0050T/GSL0100T/GSL0250T Circuit diagram

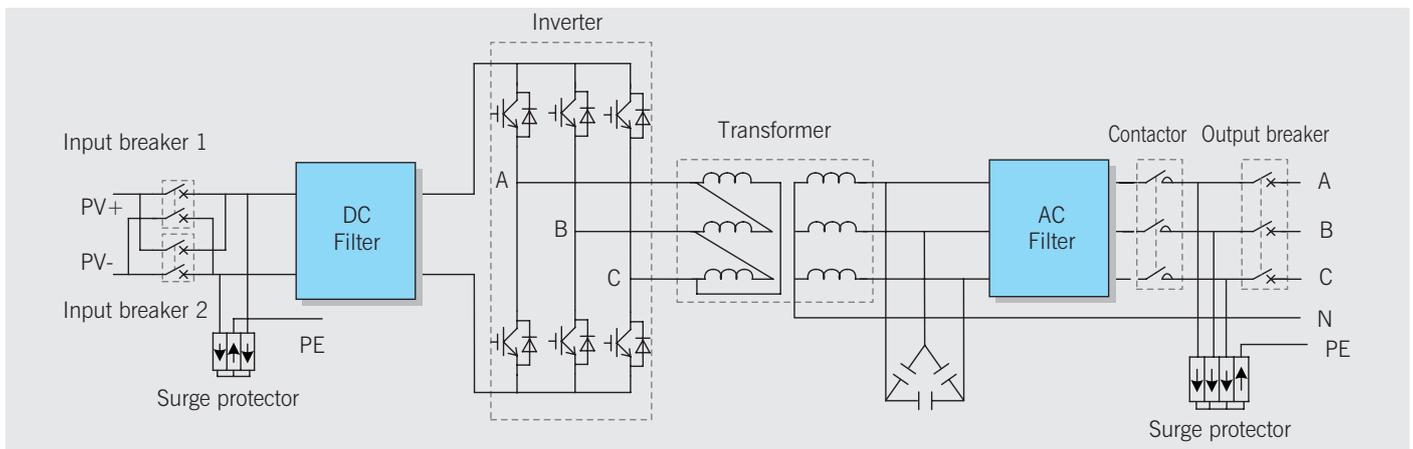


GSL series Technical Specifications

MODEL	GSL0050T	GSL0100T	GSL0250T	GSL0500T	GSL0630T
INPUT					
Max. DC input power	55KW	110KW	275KW	550KW	690KW
Max. DC input voltage	900Vdc				1000Vdc
MPPT tracking voltage range	450~850Vdc (Rated voltage 576Vdc)				
Number of MPPT tracking	1				
Max. input current	120A	240A	600A	1200A	1440A
OUTPUT					
Rated output power	50KW	100KW	250KW	500KW	630KW
Rated output voltage	400Vac				
AC output topology	3Ph+N+PE				
Output voltage range	$(1 \pm 15\%) \times \text{Normal AC Voltage}$ (adjustable $\pm 5\%, \pm 10\%, \pm 15\%, \pm 20\%$)				
Grid frequency range	50/ 60Hz ($\pm 4.5\text{Hz}$), (adjustable)				
Rated AC output current	72A	144A	361A	722A	909A
Max. AC output current	79A	158A	397A	794A	1000A
Power factor (cosΦ)	1 (0.9 leading – 0.9 lagging) (adjustable)				
Total harmonic current distortion (THDi)	<3%				
SYSTEM FEATURES					
Max. efficiency	>97%	>97.5%	>97.6%	>98.1%	>98.1%
Euro efficiency	>96.5%	>96.9%	>97%	>97.6%	>97.6%
MPPT efficiency	>99%				
Standby (night time) losses	<10W				
Cooling	Forced air cooling				
Communication interface	RS485 , external Ethernet (optional)				
ENVIRONMENTAL					
Operating temperature	-40°C~55°C				
Humidity range	0~95% (non-condensing)				
Altitude	3000m				
Noise level	<58dB	<58db	<60dB	<60dB	<60dB
Protection rating	IP20				
PHYSICAL					
Dimension W×H×D (mm)	600×1600×945	835×1850×945	1200×1850×945	1600×1850×945	1600×1850×945
Net weight (kg)	520	900	1470	2800	3150
STANDARDS					
Safety	IEC/EN62109-1,IEC/EN62109-2,CNCA/CTS0004 :2009A,CNCA/CTS0006-2010,LVRT,etc				
EMC	IEC/EN61000-6-2, IEC/EN61000-6-4,etc				

Specifications subject to change without prior notice.

GSL0500T / GSL0630T Circuit diagram



APÊNDICE A

Aspectos Atividades	Consumo de metais		Consumo de materiais		Geração de resíduos		Material para limpeza		água		Geração de empregos		Redução de impactos após a instalação		Redução de custos		Imagem sustentável		Preocupação com o meio ambiente		Redução de pedas de potência		autonomia na geração	
	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I
Produção	3	2	2	2	2	3	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	2	3	3	0	0	0	0
	3	2	2	2	1	1	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	2	2	2	3	0	0	0	0
	2	2	1	1	3	3	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	2	2	2	0	0	0	0
	8	6	5	5	6	7	0	0	0	0	5	5	0	0	0	0	6	6	7	8	0	0	0	0
Instalação	2	2	2	2	3	3	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	3	3	3	0	0	0	0
	2	2	2	2	2	1	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	2	2	2	2	0	0	0	0
	2	2	1	1	2	3	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	3	2	3	0	0	0	0
	6	6	5	5	7	7	0	0	0	0	5	5	0	0	0	0	6	8	7	8	0	0	0	0
Operação e Manutenção	0	0	0	0	0	0	2	3	3	3	0	0	3	3	3	3	2	3	3	3	2	2	2	3
	0	0	0	0	0	0	1	1	1	3	0	0	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	3	3
	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	0	0	3	3	3	3	2	2	2	3	2	2	3	3
	0	0	0	0	0	0	4	5	5	8	0	0	9	9	9	9	6	7	7	8	6	6	8	9
	Impacto negativo	Impacto positivo	Impacto positivo	Impacto positivo	Impacto positivo	Impacto positivo	Impacto positivo	Impacto positivo	Impacto positivo	Impacto positivo	Impacto positivo	Impacto positivo	Impacto positivo	Impacto positivo	SOMA									
Produção	-48	-25	-42	0	0	25	0	0	36	56	0	0	2											
Instalação	-36	-25	-49	0	0	25	0	0	48	56	0	0	19											
Operação e Manutenção	0	0	0	-20	-40	0	81	81	42	56	36	72	308											

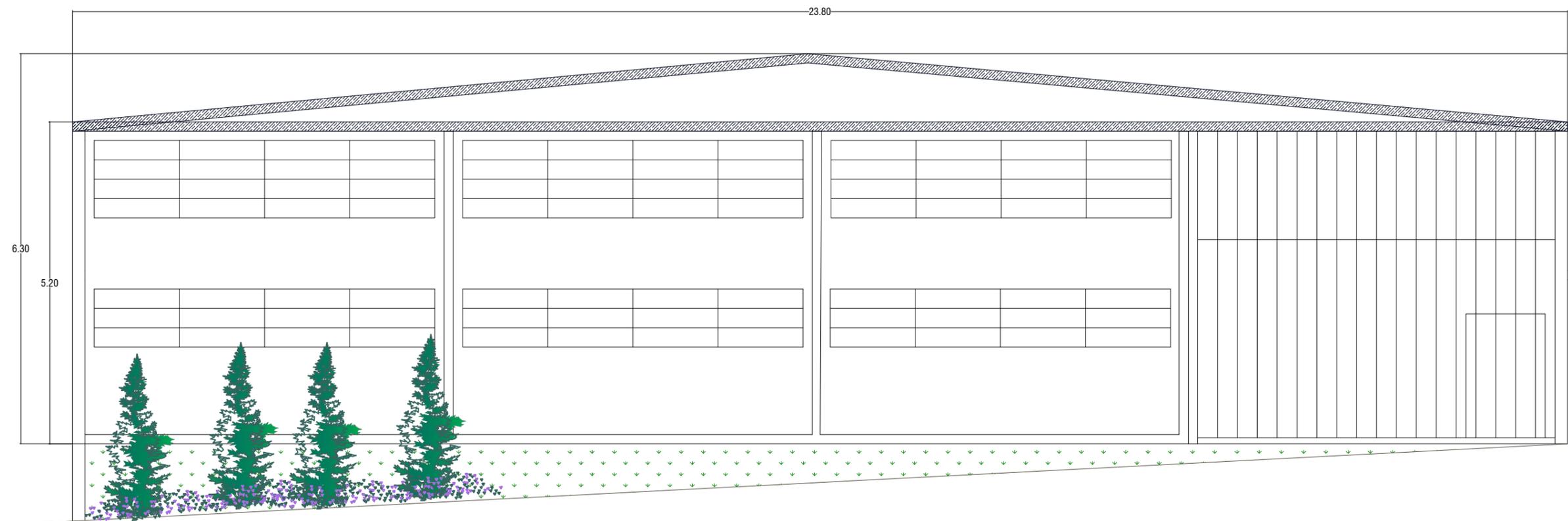
APÊNCICE B

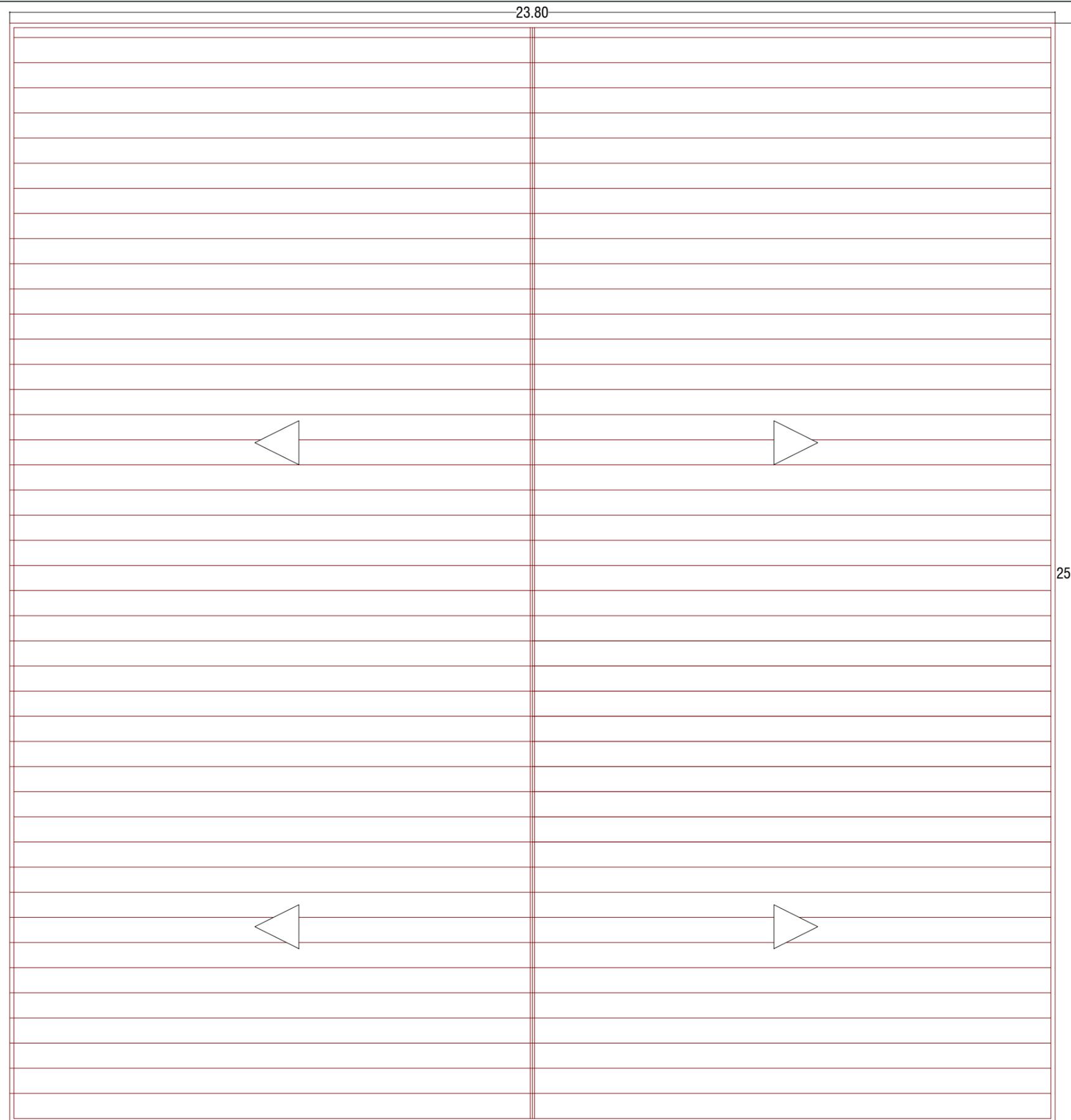
CENÁRIO 1

Período (anos)	Investimento (R\$) A	Receitas (R\$) B	Fluxo de caixa C = B + A	FVP D	Custos VPL (R\$) E = A X D	Receitas VPL(R\$) F=B X D	Fluxo de caixa de VPL(R\$) G = F + E	Saldo em caixa em VPL(R\$) H
0	-R\$ 260.215,00	-	-R\$ 260.215,00	-	-R\$ 260.215,00	R\$ 0,00	-R\$ 260.215,00	-R\$ 260.215,00
1	-R\$ 2.003,52	R\$ 45.975,63	R\$ 43.972,12	0,90	-R\$ 1.810,52	R\$ 41.546,75	R\$ 39.736,23	-R\$ 220.478,77
2	-R\$ 2.251,98	R\$ 48.274,42	R\$ 46.022,44	0,82	-R\$ 1.839,01	R\$ 39.421,73	R\$ 37.582,73	-R\$ 182.896,04
3	-R\$ 2.413,90	R\$ 50.688,14	R\$ 48.274,24	0,74	-R\$ 1.781,34	R\$ 37.405,40	R\$ 35.624,06	-R\$ 147.271,98
4	-R\$ 2.587,46	R\$ 53.222,54	R\$ 50.635,09	0,67	-R\$ 1.725,48	R\$ 35.492,20	R\$ 33.766,72	-R\$ 113.505,26
5	-R\$ 2.773,50	R\$ 55.883,67	R\$ 53.110,18	0,60	-R\$ 1.671,38	R\$ 33.676,86	R\$ 32.005,48	-R\$ 81.499,77
6	-R\$ 2.972,91	R\$ 58.677,85	R\$ 55.704,95	0,54	-R\$ 1.618,97	R\$ 31.954,37	R\$ 30.335,40	-R\$ 51.164,37
7	-R\$ 3.186,66	R\$ 61.611,75	R\$ 58.425,09	0,49	-R\$ 1.568,20	R\$ 30.319,98	R\$ 28.751,78	-R\$ 22.412,59
8	-R\$ 3.415,78	R\$ 64.692,33	R\$ 61.276,55	0,44	-R\$ 1.519,02	R\$ 28.769,18	R\$ 27.250,16	R\$ 4.837,56
9	-R\$ 3.661,38	R\$ 67.926,95	R\$ 64.265,57	0,40	-R\$ 1.471,39	R\$ 27.297,70	R\$ 25.826,31	R\$ 30.663,87
10	-R\$ 3.924,63	R\$ 71.323,30	R\$ 67.398,67	0,36	-R\$ 1.425,25	R\$ 25.901,49	R\$ 24.476,24	R\$ 55.140,11
11	-R\$ 4.206,81	R\$ 74.889,46	R\$ 70.682,65	0,33	-R\$ 1.380,56	R\$ 24.576,69	R\$ 23.196,13	R\$ 78.336,24
12	-R\$ 4.509,28	R\$ 78.633,94	R\$ 74.124,66	0,30	-R\$ 1.337,27	R\$ 23.319,65	R\$ 21.982,38	R\$ 100.318,62
13	-R\$ 4.833,50	R\$ 82.565,63	R\$ 77.732,14	0,27	-R\$ 1.295,34	R\$ 22.126,90	R\$ 20.831,57	R\$ 121.150,19
14	-R\$ 5.181,03	R\$ 86.693,92	R\$ 81.512,89	0,24	-R\$ 1.254,72	R\$ 20.995,17	R\$ 19.740,45	R\$ 140.890,63
15	-R\$ 5.553,54	R\$ 91.028,61	R\$ 85.475,07	0,22	-R\$ 1.215,37	R\$ 19.921,31	R\$ 18.705,94	R\$ 159.596,57
16	-R\$ 5.952,84	R\$ 95.580,04	R\$ 89.627,20	0,20	-R\$ 1.177,26	R\$ 18.902,38	R\$ 17.725,12	R\$ 177.321,69
17	-R\$ 6.380,85	R\$ 100.359,04	R\$ 93.978,19	0,18	-R\$ 1.140,35	R\$ 17.935,57	R\$ 16.795,22	R\$ 194.116,91
18	-R\$ 6.839,64	R\$ 105.377,00	R\$ 98.537,36	0,16	-R\$ 1.104,59	R\$ 17.018,21	R\$ 15.913,62	R\$ 210.030,53
19	-R\$ 7.331,41	R\$ 110.645,85	R\$ 103.314,44	0,15	-R\$ 1.069,95	R\$ 16.147,77	R\$ 15.077,81	R\$ 225.108,35
20	-R\$ 7.858,53	R\$ 116.178,14	R\$ 108.319,61	0,13	-R\$ 1.036,40	R\$ 15.321,85	R\$ 14.285,44	R\$ 239.393,79
21	-R\$ 8.423,56	R\$ 121.987,05	R\$ 113.563,48	0,12	-R\$ 1.003,90	R\$ 14.538,17	R\$ 13.534,27	R\$ 252.928,06
22	-R\$ 9.029,22	R\$ 128.086,40	R\$ 119.057,18	0,11	-R\$ 972,42	R\$ 13.794,58	R\$ 12.822,15	R\$ 265.750,21
23	-R\$ 9.678,42	R\$ 134.490,72	R\$ 124.812,30	0,10	-R\$ 941,93	R\$ 13.089,02	R\$ 12.147,09	R\$ 277.897,29
24	-R\$ 10.374,29	R\$ 141.215,25	R\$ 130.840,96	0,09	-R\$ 912,39	R\$ 12.419,54	R\$ 11.507,15	R\$ 289.404,44
25	-R\$ 11.120,21	R\$ 148.276,02	R\$ 137.155,81	0,08	-R\$ 883,78	R\$ 11.784,31	R\$ 10.900,53	R\$ 300.304,97
Total:					-R\$ 288.657,38	R\$ 528.051,17	R\$ 239.393,79	R\$ 2.043.746,26

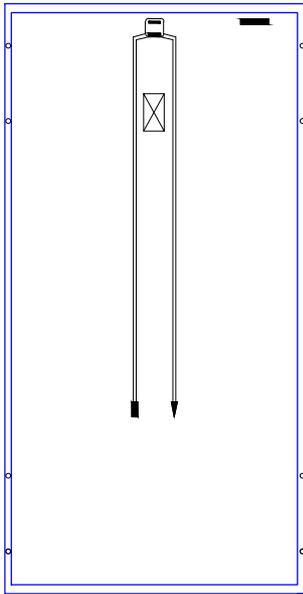
APÊNDICE B

CENÁRIO 2								
Período (anos)	Investimento (R\$) A	Receitas (R\$) B	Fluxo de caixa C = B + A	FVP D	Custos VPL (R\$) E = A X D	Receitas VPL(R\$) F=B X D	Fluxo de caixa de VPL(R\$) G = F - E	Saldo em caixa em VPL(R\$) H
0	-R\$ 338.130,00	-	-R\$ 338.130,00	-	-R\$ 338.130,00	R\$ 0,00	-R\$ 338.130,00	-R\$ 338.130,00
1	-R\$ 3.065,63	R\$ 61.220,19	R\$ 58.154,56	0,90	-R\$ 2.770,32	R\$ 55.322,78	R\$ 52.552,47	-R\$ 285.577,53
2	-R\$ 3.286,05	R\$ 64.281,20	R\$ 60.995,15	0,82	-R\$ 2.683,45	R\$ 52.493,15	R\$ 49.809,70	-R\$ 235.767,83
3	-R\$ 3.522,32	R\$ 67.495,26	R\$ 63.972,94	0,74	-R\$ 2.599,30	R\$ 49.808,25	R\$ 47.208,95	-R\$ 188.558,88
4	-R\$ 3.775,58	R\$ 70.870,02	R\$ 67.094,45	0,67	-R\$ 2.517,80	R\$ 47.260,67	R\$ 44.742,88	-R\$ 143.816,00
5	-R\$ 4.047,04	R\$ 74.413,53	R\$ 70.366,49	0,60	-R\$ 2.438,84	R\$ 44.843,40	R\$ 42.404,56	-R\$ 101.411,45
6	-R\$ 4.338,02	R\$ 78.134,20	R\$ 73.796,18	0,54	-R\$ 2.362,37	R\$ 42.549,77	R\$ 40.187,40	-R\$ 61.224,05
7	-R\$ 4.649,92	R\$ 82.040,91	R\$ 77.390,99	0,49	-R\$ 2.288,29	R\$ 40.373,45	R\$ 38.085,15	-R\$ 23.138,89
8	-R\$ 4.984,25	R\$ 86.142,96	R\$ 81.158,70	0,44	-R\$ 2.216,54	R\$ 38.308,44	R\$ 36.091,90	R\$ 12.953,01
9	-R\$ 5.342,62	R\$ 90.450,11	R\$ 85.107,48	0,40	-R\$ 2.147,03	R\$ 36.349,05	R\$ 34.202,02	R\$ 47.155,03
10	-R\$ 5.726,76	R\$ 94.972,61	R\$ 89.245,85	0,36	-R\$ 2.079,71	R\$ 34.489,88	R\$ 32.410,18	R\$ 79.565,21
11	-R\$ 6.138,51	R\$ 99.721,24	R\$ 93.582,73	0,33	-R\$ 2.014,49	R\$ 32.725,81	R\$ 30.711,31	R\$ 110.276,52
12	-R\$ 6.579,87	R\$ 104.707,30	R\$ 98.127,43	0,30	-R\$ 1.951,32	R\$ 31.051,96	R\$ 29.100,63	R\$ 139.377,15
13	-R\$ 7.052,96	R\$ 109.942,67	R\$ 102.889,71	0,27	-R\$ 1.890,14	R\$ 29.463,72	R\$ 27.573,59	R\$ 166.950,74
14	-R\$ 7.560,07	R\$ 115.439,80	R\$ 107.879,73	0,24	-R\$ 1.830,87	R\$ 27.956,72	R\$ 26.125,86	R\$ 193.076,60
15	-R\$ 8.103,64	R\$ 121.211,79	R\$ 113.108,15	0,22	-R\$ 1.773,45	R\$ 26.526,80	R\$ 24.753,35	R\$ 217.829,94
16	-R\$ 8.686,29	R\$ 127.272,38	R\$ 118.586,09	0,20	-R\$ 1.717,84	R\$ 25.170,02	R\$ 23.452,17	R\$ 241.282,12
17	-R\$ 9.310,84	R\$ 133.636,00	R\$ 124.325,17	0,18	-R\$ 1.663,98	R\$ 23.882,63	R\$ 22.218,65	R\$ 263.500,77
18	-R\$ 9.980,28	R\$ 140.317,80	R\$ 130.337,52	0,16	-R\$ 1.611,80	R\$ 22.661,09	R\$ 21.049,29	R\$ 284.550,06
19	-R\$ 10.697,87	R\$ 147.333,69	R\$ 136.635,82	0,15	-R\$ 1.561,26	R\$ 21.502,03	R\$ 19.940,77	R\$ 304.490,83
20	-R\$ 11.467,04	R\$ 154.700,38	R\$ 143.233,33	0,13	-R\$ 1.512,30	R\$ 20.402,25	R\$ 18.889,95	R\$ 323.380,78
21	-R\$ 12.291,52	R\$ 162.435,39	R\$ 150.143,87	0,12	-R\$ 1.464,88	R\$ 19.358,72	R\$ 17.893,84	R\$ 341.274,62
22	-R\$ 13.175,28	R\$ 170.557,16	R\$ 157.381,88	0,11	-R\$ 1.418,94	R\$ 18.368,57	R\$ 16.949,62	R\$ 358.224,25
23	-R\$ 14.122,59	R\$ 179.085,02	R\$ 164.962,44	0,10	-R\$ 1.374,45	R\$ 17.429,06	R\$ 16.054,61	R\$ 374.278,86
24	-R\$ 15.138,00	R\$ 188.039,27	R\$ 172.901,27	0,09	-R\$ 1.331,35	R\$ 16.537,60	R\$ 15.206,25	R\$ 389.485,11
25	-R\$ 16.226,42	R\$ 197.441,24	R\$ 181.214,81	0,08	-R\$ 1.289,60	R\$ 15.691,74	R\$ 14.402,14	R\$ 403.887,25
Total:					-R\$ 379.761,09	R\$ 703.141,87	R\$ 323.380,78	R\$ 2.873.914,21

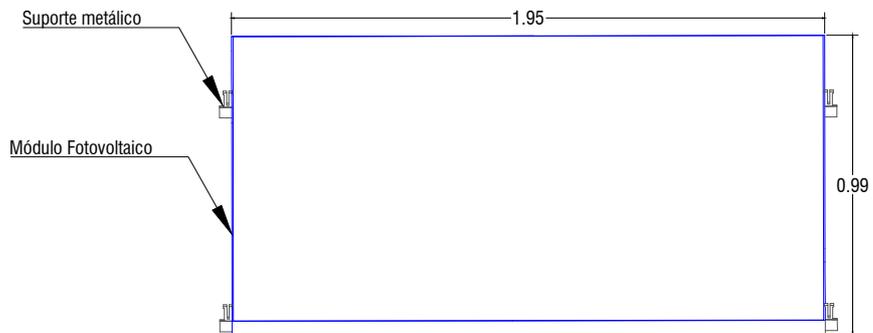
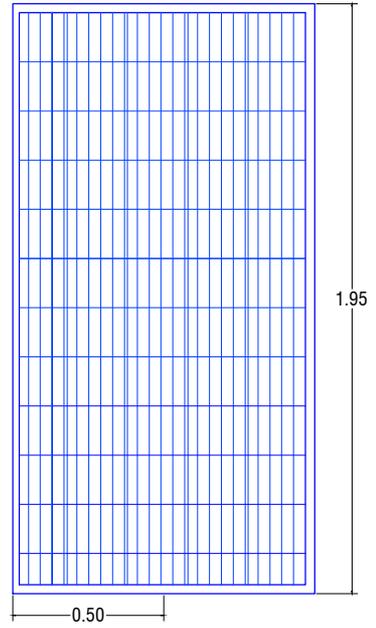




Vista inferior



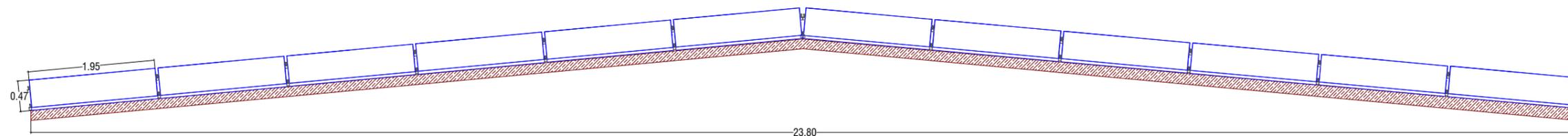
Vista superior



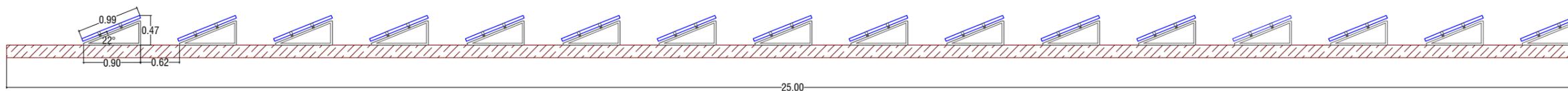


CENÁRIO 1

Vista Frontal



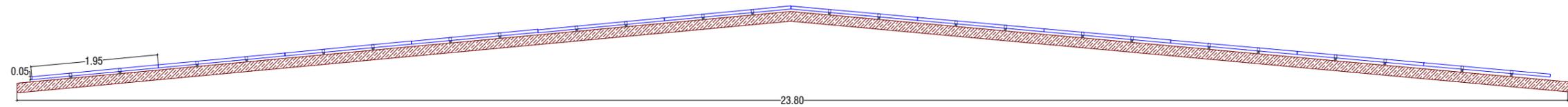
Vista Frontal





CENÁRIO 2

Vista Frontal



Vista Frontal

