

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

FELIPE ESTEVES DE SOUZA

USINA DE MINIGERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICO PARA ALIMENTAÇÃO DE
ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE CHORUME EM ATERROS SANITÁRIOS

NITERÓI

2022

FELIPE ESTEVES DE SOUZA

**USINA DE MINIGERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICO PARA ALIMENTAÇÃO DE
ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE CHORUME EM ATERROS SANITÁRIOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Corpo Docente do Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia da Universidade Federal Fluminense, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheira(o) Eletricista.

Orientador:

Prof. Dr. Thiago Trezza Borges

Niterói, RJ

2022

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE
TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA
FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA GERADA EM:

<http://www.bibliotecas.uff.br/bee/ficha-catalografica>

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE
Gerada com informações fornecidas pelo autor

S719u Souza, Felipe Esteves de
Usina De Minigeração Solar Fotovoltaico Para Alimentação
De Estações De Tratamento De Chorume Em Aterros Sanitários /
Felipe Esteves de Souza ; Thiago Trezza Borges, orientador.
Niterói, 2022.
78 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia
Elétrica)-Universidade Federal Fluminense, Escola de
Engenharia, Niterói, 2022.

1. Aterro sanitário. 2. Energia solar. 3. Chorume. 4.
Osiose inversa. 5. Produção intelectual. I. Borges, Thiago
Trezza, orientador. II. Universidade Federal Fluminense.
Escola de Engenharia. III. Título.

CDD -

Bibliotecário responsável: Debora do Nascimento - CRB7/6368

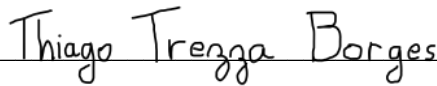
FELIPE ESTEVES DE SOUZA

**USINA DE MINIGERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICO PARA ALIMENTAÇÃO DE
ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE CHORUME EM ATERROS SANITÁRIOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Corpo Docente do Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia da Universidade Federal Fluminense, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheira(o) Eletricista.

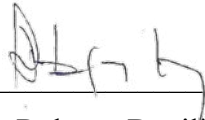
Aprovado em 14 de julho de 2022, com nota 9,4 (NOVE, QUATRO), pela banca examinadora.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Thiago Trezza Borges – Orientador(a)

UFF



Prof. Dr. Paulo Roberto Duailibe Monteiro

UFF



Eng. Felipe Galleazzi da Silva

AST Ambiente

Niterói

2022

Dedico este trabalho aos meus pais que desde pequeno me incentivaram e sempre fizeram o possível e impossível para que eu pudesse seguir os meus sonhos, além de sempre serem a minha base quando eu precisei.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus, por sempre ter me guiado no meu caminho e me dado forças para seguir.

Também gostaria de agradecer minha mãe Rose, meu pai Vagner e meu irmão Lucas, por sempre terem me incentivado e dado suporte em todos os momentos da minha vida, por terem me proporcionado todas as condições para que eu pudesse chegar até aqui, por todo o amor, carinho e exemplo de vida.

Agradeço a minha namorada Caroline, por todo o companheirismo e amor, por sempre ter me dado suporte e em várias ocasiões ter sido meu farol de milha quando tudo se mostrou nublado em minha frente.

Agradeço meus amigos Raul e Mariana, que posso chamar de irmãos, por sempre terem estado do meu lado, em todos os momentos, compartilhando das alegrias e desafios dessa vida.

Agradeço aos meus amigos de Engenharia Elétrica da UFF, Ana, Pedro, Cristiana, entre tantos outros que foram cruciais para essa etapa, também gostaria de agradecer meus amigos da engenharia de telecomunicações João, Lucas e Rafael e tantos outros que dividiram essa experiência comigo, que me ajudaram e seguiram junto comigo para que essa graduação fosse possível. Agradeço também a todos os professores que passaram na minha trajetória acadêmica, que com certeza contribuíram para a minha formação e pessoa que sou hoje.

Agradeço ao meu professor e orientador Thiago Trezza, por ter me aceitado como orientado e ter me dado todo o auxílio necessário, sempre com muita calma e boa vontade, me ajudando a passar por essa etapa tão importante da minha formação acadêmica.

Agradeço e dedico a minha família pelo apoio me dado durante a minha vida, principalmente aos meus avós, minha avó Amélia, e meus avós Antônio, Maria da Penha e Pedro, que infelizmente não estão mais entre nós, mas tenho certeza que estão me acompanhando de perto, como sempre fizeram em vida.

Também gostaria de agradecer a todas as oportunidades profissionais que me foram dadas, também agradeço a todas as pessoas com que já trabalhei tanto contribuíram ao profissional e que sou hoje em dia.

“A parte mais importante do progresso é o desejo de progredir”

Sêneca

RESUMO

Um dos grandes desafios ambientais enfrentados no Brasil atualmente é o tratamento do chorume proveniente de aterros sanitários. Esse chorume é fruto da decomposição orgânica dos resíduos, porém seu processamento não é simples e deve ser feito com muito cuidado e seguindo todas as diretrizes da legislação ambiental. Uma das formas de tratamento é feito através da tecnologia de osmose reversa, apresentada ao longo deste trabalho. Ainda no âmbito de questões ambientais, as energias renováveis vêm ganhando grande destaque como solução para um desenvolvimento mais sustentável e geração de energia limpa. Dessa forma, o objetivo desse trabalho é realizar o estudo de viabilidade técnica e econômica de um projeto de uma usina geradora fotovoltaica para abastecer uma estação de tratamento de chorume que possui a tecnologia de filtração de osmose reversa. Esta estação está localizada em um aterro sanitário no estado do Ceará. Nesse trabalho é apresentada toda a fundamentação teórica necessária para o entendimento do assunto, sendo abordado o cenário atual de tratamento de chorume no país, como é realizado o tratamento, a tecnologia de osmose reversa da planta, além de fundamentar teoricamente a tecnologia fotovoltaica e todas as questões necessárias para a construção de uma usina de minigeração. Para o estudo de viabilidade técnica foram levadas em consideração todos os fatores fundamentais para implantação de uma usina, como por exemplo, estudo do terreno e análise solar do local. Já para o estudo de viabilidade econômica foram utilizadas ferramentas financeiras adequadas para se observar se o projeto é viável do ponto de vista econômico. Tecnicamente, o projeto se apresentou viável, contanto que algumas questões referentes ao ambiente do aterro sanitário sejam tratadas apropriadamente, como localização da usina e rotina mais frequente de manutenções preventivas, já financeiramente, com o uso das ferramentas financeiras, foi constatado que o empreendimento apresenta-se como um investimento rentável e interessante do ponto de vista econômico.

Palavras-Chave: Aterro sanitário, geração fotovoltaica, chorume, osmose reversa.

ABSTRACT

One of the major environmental challenges faced in Brazil today is the treatment of slurry from sanitary landfills. This slurry is the result of the organic decomposition of waste, but its processing is not simple and must be done with great care and following all the environmental legislation guidelines. One of the treatments is done through reverse osmosis technology, presented throughout this work. Regarding to environmental issues, renewable energies have been gaining prominence as a solution for more sustainable development and clean energy generation. Thus, the objective of this study is to carry out the technical and economic feasibility of a photovoltaic generating plant to supply a slurry treatment plant through reverse osmosis filtration technology. This station is located in a sanitary landfill in the state of Ceará, Brazil. In this work, all the theoretical foundations necessary for understanding the subject are presented, addressing the current scenario of slurry treatment in the country, how the treatment is carried out, the plant's reverse osmosis technology, in addition to the photovoltaic technology and all the requirements necessary for the construction of a generation plant. For the technical feasibility study, all the fundamental factors for the implantation of a plant were taken into account, such as, terrain study and solar analysis of the site. For the economic feasibility study, adequate financial tools were used to observe whether the project is viable. The project proved to be viable, as long as some issues related to the environment of the sanitary landfill are properly addressed, such as the location of the plant and more frequent routine of preventive maintenance, it was found that the project is profitable and an interesting investment from an economic point of view.

Keywords: Sanitary landfill, Photovoltaic generation, slurry, reverse osmosis.

LISTA DE FIGURAS

Observação: a Lista de Figuras deve ser aplicada nos casos em que existam Figuras no desenvolvimento do TCC, caso contrário, esta parte deve ser retirada.

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Disposição dos Resíduos sólidos urbanos no Brasil. | 1 |
| Figura 2 – Comparação entre Matrizes Elétricas..... | 2 |
| Figura 3 - Oferta Interna de Energia 2021-2022. | 2 |
| Figura 4 - Esquematização de um aterro sanitário. | 6 |
| Figura 5 - Lagoa de depósito de chorume. | 6 |
| Figura 6 - Processo Osmose Reversa. | 7 |
| Figura 7 - Estação de tratamento de chorume. | 8 |
| Figura 8 - Representação interna de uma estação de tratamento de chorume. | 9 |
| Figura 9 – Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil. | 10 |
| Figura 10 - Semicondutor P..... | 11 |
| Figura 11 - Semicondutor N. | 11 |
| Figura 12- Junção P-N..... | 11 |
| Figura 13 - Representação de um Módulo Fotovoltaico. | 12 |
| Figura 14 - Irradiação solar média..... | 13 |
| Figura 15 – Ângulos θZ , α e γs | 14 |
| Figura 16 - Ângulos γ , β e θ | 14 |
| Figura 17 - Módulo Fotovoltaico. | 15 |
| Figura 18 - Lingote de Silício monocristalino..... | 16 |
| Figura 19 - Painel monocristalino. | 16 |
| Figura 20 - Lingote de Silício policristalino..... | 17 |
| Figura 21 - Painel policristalino. | 17 |
| Figura 22 - Comparativo Células cristalinas e de filme fino no mercado. | 18 |
| Figura 23 - Inversores CC-CA. | 19 |
| Figura 24 – Circuito eletrônico básico do inversor CC-CA. | 19 |
| Figura 25 - Onda quadrada de um Inversor. | 20 |
| Figura 26 - Onda Quadrada. | 20 |
| Figura 27 – Formatos de Onda. | 21 |
| Figura 28 - Sistema fotovoltaico <i>on grid</i> | 23 |
| Figura 29 - Sistema Fotovoltaico <i>off grid</i> | 24 |

| | |
|---|----|
| Figura 30 - Vista aérea aterro sanitário. | 25 |
| Figura 31 - Mapa de Potencial Fotovoltaico do Estado do Ceará. | 26 |
| Figura 32 - Especificações técnicas módulo fotovoltaico. | 29 |
| Figura 33 - Especificação técnica inversor. | 30 |
| Figura 34 - Tabela do ângulo de inclinação recomendado. | 34 |
| Figura 35 - Relação entre área do painel e área de instalação. | 34 |
| Figura 36 - Dimensões do módulo fotovoltaico. | 35 |
| Figura 37 - Cálculo do espaçamento entre fileiras de painéis. | 36 |
| Figura 38 - Área do Terreno. | 39 |
| Figura 39 - Área expandida do terreno. | 39 |
| Figura 40 - Elevação do terreno. | 40 |
| Figura 41 - Fluxo de caixa. | 44 |

LISTA DE TABELAS

Observação: a Lista de Tabelas deve ser aplicada nos casos em que existam Tabelas no desenvolvimento do TCC, caso contrário, esta parte deve ser retirada.

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Irradiação solar diária média mensal no local do aterro [kWh/m ² .dia]. | 26 |
| Tabela 2 - Consumo planta 1..... | 27 |
| Tabela 3 - Consumo planta 2..... | 28 |
| Tabela 4 - Consumo Total. | 28 |
| Tabela 5 - CAPEX do empreendimento. | 43 |
| Tabela 6 - Custos OPEX..... | 43 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Observação: Na coluna à esquerda devem ser inseridas as abreviaturas e siglas utilizadas no texto, em ordem alfabética, e na coluna à direita o respectivo significado por extenso, conforme exemplo a seguir.

| | |
|---------|--|
| RSU | Resíduos Sólidos Urbanos |
| CC | Corrente Contínua |
| CA | Corrente Alternada |
| CAPEX | <i>Capital Expenditure</i> |
| OPEX | <i>Operational Expenditure</i> |
| TMA | Taxa Mínima de Amostragem |
| VPL | Valor Presente Líquido |
| TIR | Taxa Interna de Retorno |
| BEN | Balço Energético Nacional |
| CLP | Controlador Lógico Programável |
| PWM | <i>Pulse Width Modulation</i> |
| CE | Ceará |
| IPCA | Índice Nacional de Preços ao consumidor Amplo |
| TJLP | Taxa de Juros de Longo Prazo |
| TBF | Taxa Básica Financeira |
| ABRELPE | Associação Brasileira de Emp. de Lim. Pública e Resíduos Especiais |

LISTA DE SÍMBOLOS

Observação: Na coluna à esquerda devem ser listados os símbolos, na ordem que aparecem no texto, e na coluna à direita o respectivo significado por extenso, conforme exemplo a seguir.

| | |
|----------------|--|
| α | Elevação Solar |
| d_{ab} | Distância euclidiana |
| θ_Z | Ângulo Zenital |
| γ_s | Ângulo Azimutal Solar |
| γ | Ângulo azimutal de superfície |
| β | Inclinação da Superfície de Captação |
| θ | Ângulo de Incidência |
| P_{tot} | Potência total do sistema fotovoltaico |
| η | Eficiência do sistema |
| I | Irradiação média diária |
| N_{pn} | Número de Painéis |
| P_{pn} | Potência por painel |
| $V_{cc_{max}}$ | Tensão máxima de entrada do inversor |
| V_{oc} | Tensão de circuito aberto do módulos |
| δ | Ângulo de inclinação do painel |

SUMÁRIO

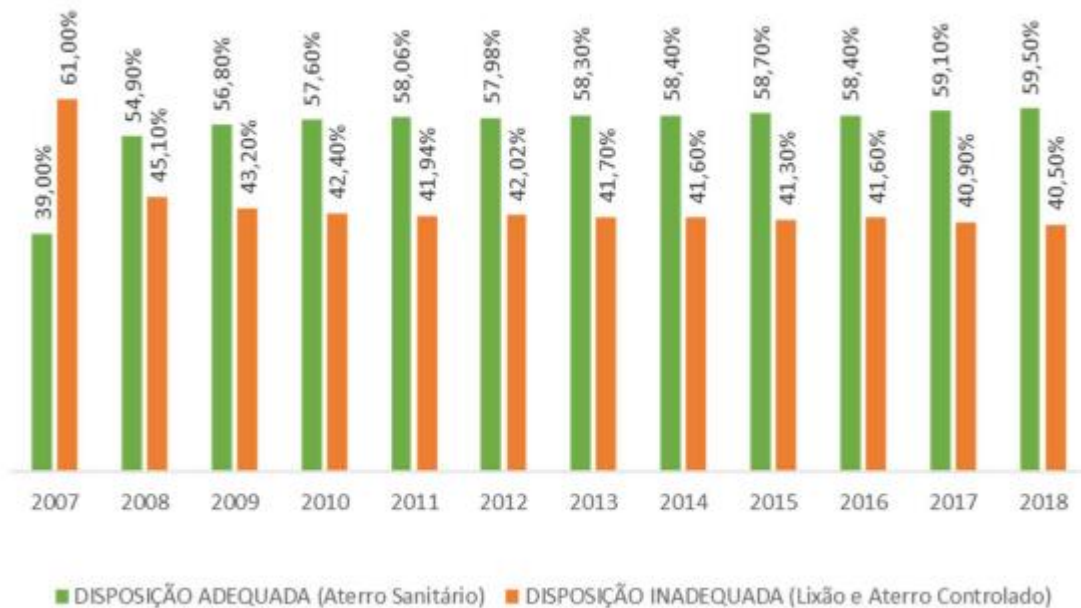
| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 1.1 | OBJETIVOS | 3 |
| 1.2 | ESTRUTURA DO TRABALHO | 3 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO..... | 5 |
| 2.1 | TRATAMENTO DE RESÍDUOS | 5 |
| 2.1.1 | ATERRO SANITÁRIO..... | 5 |
| 2.1.2 | CHORUME | 6 |
| 2.1.3 | OSMOSE REVERSA..... | 7 |
| 2.1.4 | ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE CHORUME | 8 |
| 2.2 | ENERGIA FOTOVOLTAICA | 9 |
| 2.2.1 | INTRODUÇÃO..... | 9 |
| 2.2.2 | FENÔMENO FOTOVOLTAICO | 10 |
| 2.2.3 | IRRADIAÇÃO SOLAR | 12 |
| 2.2.4 | GEOMETRIA SOLAR | 13 |
| 2.2.5 | MÓDULOS FOTOVOLTAICOS | 15 |
| 2.2.6 | INVERSORES | 18 |
| 2.2.7 | TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS | 22 |
| 3 | PROJETO DA USINA FOTOVOLTAICA | 25 |
| 3.1 | INTRODUÇÃO | 25 |
| 3.2 | LOCALIZAÇÃO | 25 |
| 3.3 | INFORMAÇÕES SOLARES | 26 |
| 3.4 | DEMANDA ELÉTRICA DA PLANTA DE TRATAMENTO | 27 |
| 3.5 | EQUIPAMENTOS DA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA | 29 |
| 3.6 | DIMENSIONAMENTO DA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA..... | 30 |
| 3.7 | MONTAGEM DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS | 33 |
| 3.8 | VIABILIDADE TÉCNICA DA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA | 38 |
| 3.8.1 | TERRENO..... | 38 |
| 3.8.2 | SOMBREAMENTO..... | 40 |
| 3.8.3 | AMBIENTE DO ATERRO SANITÁRIO | 40 |
| 4 | ANÁLISE ECONÔMICA DO PROJETO..... | 42 |
| 4.1 | INTRODUÇÃO | 42 |
| 4.2 | CAPITAL EXPENDITURE | 42 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.3 | OPERATIONAL EXPENDITURE | 43 |
| 4.4 | FLUXO DE CAIXA | 43 |
| 4.5 | VIABILIDADE FINANCEIRA | 44 |
| 4.5.1 | PAYBACK | 44 |
| 4.5.2 | TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE | 45 |
| 4.5.3 | VALOR PRESENTE LÍQUIDO | 45 |
| 4.5.4 | TAXA INTERNA DE RETORNO | 46 |
| 5 | CONCLUSÕES | 47 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 49 |
| | ANEXO A – Relatório SOLAR | 54 |
| | ANEXO B – <i>Datasheet</i> Módulo Solar CS6W-540 | 57 |
| | ANEXO C – <i>Datasheet</i> Inversor FRONIUS TAURO ECO | 59 |

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, o tratamento de resíduos sempre se mostrou uma questão de grande complexidade. Durante décadas, o despejo e gerenciamento de resíduos sólidos urbanos eram realizados, em sua grande maioria, de forma não adequadas nos famosos “lixões”, lugares irregulares em que os resíduos eram despejados a céu aberto. Esses locais não possuíam nenhum controle ou processos necessários para o tratamento dos resíduos de forma a não impactar negativamente o meio ambiente. A proibição desses lixões já data alguns anos, sendo primeiramente publicada na Portaria nº 53 do Ministério do Interior publicada em 1979 e mais recentemente no artigo 47 da Lei 12.305/2010. Porém como pode ser observado no gráfico apresentado na Figura 1 apenas no ano de 2008 que a disposição dos resíduos de maneira adequada em aterros sanitários se tornou majoritária, marcando um grande passo para a política ambiental nacional (SILVA, 2020).

Figura 1 – Disposição dos Resíduos sólidos urbanos no Brasil.

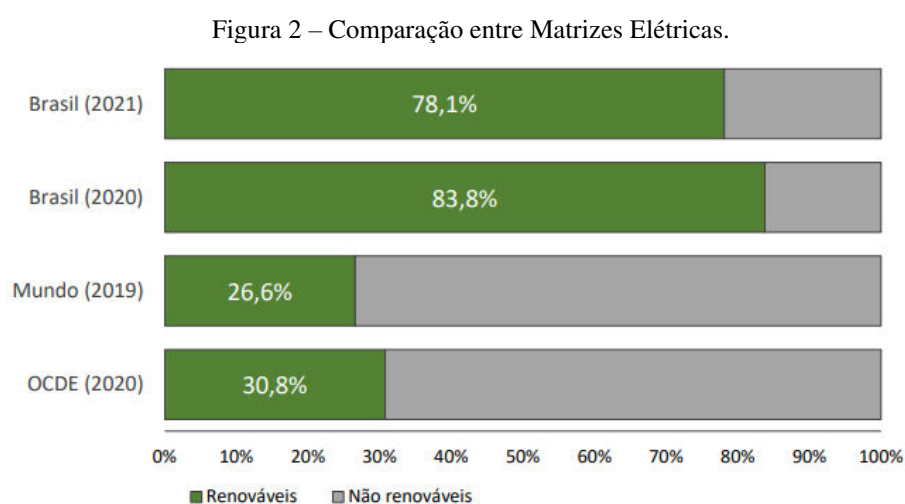


Fonte: SILVA (2020).

No tratamento dos resíduos sólidos, um elemento que sempre se mostrou problemático foi o chorume. Essa substância é um efluente que se origina em aterros sanitários através da decomposição orgânica do lixo (eCycle, 2021), possuindo alto poder de contaminação do solo e lençóis freáticos. Em lixões ou ambientes de descarte irregulares não existem os tratamentos e processos adequados para a reinserção desse efluente ao meio ambiente. Os aterros sanitários

regulares são planejados para o armazenamento e tratamento de chorume de forma adequada. Hoje em dia são muitos os métodos existentes para o tratamento desse efluente, tendo como alternativas existentes processos biológicos, químicos, físico-químicos, entre outros.

Da mesma forma que o país dá passos em direção em um futuro mais sustentável no tratamento de resíduos, um cenário similar pode ser observado na geração de energia elétrica. Hoje, a matriz energética nacional é composta em sua grande maioria por fontes de energia renováveis, compondo 78,1% da matriz elétrica brasileira (EPE, 2022), como pode ser visto na Figura 2.



Fonte: EPE (2022).

Além disso, as energias de fontes renováveis são as que mais crescem, com destaque para a solar fotovoltaica, que apresentou o maior crescimento referente ao ano anterior, apresentando um crescimento de 55,9%, como visto na Figura 3 (EPE, 2022).

Figura 3 - Oferta Interna de Energia 2021-2022.

| Outras renováveis (10 ³ tep) | 2020 | 2021 | Δ 21/20 |
|---|---------------|---------------|--------------|
| Lixívia | 9.576 | 10.128 | 5,8% |
| Eólica | 4.906 | 6.217 | 26,7% |
| Biodiesel | 5.300 | 5.570 | 5,1% |
| Outras biomassas ¹ | 1.139 | 1.347 | 18,3% |
| Solar Térmica | 867 | 930 | 7,3% |
| Solar FV | 924 | 1.441 | 55,9% |
| Biogás | 311 | 376 | 20,9% |
| Gás industrial de carvão vegetal | 85 | 159 | 87,2% |
| Total | 23.108 | 26.168 | 13,2% |

Fonte: EPE (2022).

Essa popularização muito se deve ao barateamento dos equipamentos fotovoltaicos, o rápido retorno do investimento, insatisfação popular com o crescente aumento dos valores da conta de energia e condições solares favoráveis apresentadas no Brasil. Todos esses motivos acabaram por tornar a geração solar fotovoltaica mais acessível à população. Além disso, outro fator determinante para o aumento do interesse nessa tecnologia foi a possibilidade de entrada no mercado livre de energia, de pequenos e médios geradores. O cenário futuro é bastante otimista, uma vez que o país possui condições muito propensas para a implantação da tecnologia solar fotovoltaica, contando com altos índices de irradiação solar e área disponível. A Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) estima que o ano de 2022 será encerrado com um crescimento de 91,7% em comparação com cenário atual, isso equivale a um total de 25 GW de capacidade instalada, o que torna o futuro da energia solar fotovoltaica no país bastante promissor (Canal Solar, 2022).

1.1 OBJETIVOS

Esse trabalho tem como objetivo o projeto de desenvolvimento, estudo de viabilidade técnica e econômica de uma usina de minigeração solar fotovoltaica de uma estação de tratamento de chorume em um aterro sanitário no estado do Ceará. A planta de tratamento de chorume a ser estudada conta com duas máquinas independentes, cada uma com uma capacidade de tratamento de chorume de 270 m³/dia.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O TCC é dividido em cinco capítulos. No capítulo 1 é apresentada uma breve introdução sobre todo o panorama ambiental e energético nacional, além de embasar a motivação para a elaboração deste trabalho.

No capítulo 2, é apresentada toda a fundamentação teórica sobre os assuntos abordados neste trabalho. É discutido as questões técnicas acerca do tratamento de resíduos e chorume. Também é explicada todas as tratativas envolvendo a energia solar fotovoltaica, o funcionamento do seu fenômeno, os equipamentos necessários e os tipos existentes atualmente no mercado.

No capítulo 3, o projeto da usina é realizado de fato, é feito todo o dimensionamento dos equipamentos necessários e também definida a área para a construção da usina. Por fim, é

abordado os aspectos cruciais para a análise de viabilidade técnica da usina no ambiente do aterro sanitário.

No capítulo 4, a análise financeira do empreendimento é feita. Os custos das etapas do projeto são levantados, além de utilizar ferramentas financeiras para embasar a análise de viabilidade financeira do projeto.

Por fim, no capítulo 5 é reunido todas as informações levantadas ao longo do projeto e é apresentado o resultado das análises de viabilidade de implementação da usina.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 TRATAMENTO DE RESÍDUOS

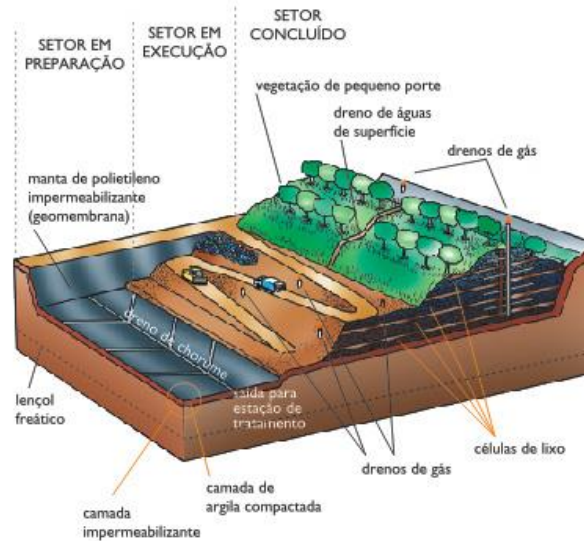
O tratamento dos resíduos sólidos urbanos é uma das pautas ambientais mais frequentes e emergenciais da atualidade, o crescimento de geração de lixo, que acompanha o crescimento populacional, faz com que a discussão de sua gestão deva ser pensada de forma constante. Soluções para o panorama encontrado atualmente devem ser buscadas, porém, não deve ser somente pensando nas melhores formas de coleta e gestão desse lixo, mas também de todos os subprodutos envolvidos no processo.

2.1.1 ATERRO SANITÁRIO

A gestão de resíduos é uma pauta que vem ganhando cada vez mais importância no cenário ambiental, fatores como o aumento da população, aumento da indústria e aumento do consumo tem como consequência direta a elevação da quantidade de lixo gerado. Segundo dados levantados no Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020, a geração de resíduos cresceu cerca de 14% em menos de 10 anos, passando de 66,7 milhões de toneladas em 2010 para 76,1 milhões de toneladas em 2020 (ABRELPE, 2020). Por isso, é de extrema importância a discussão de qual fim e qual a melhor forma para se gerenciar esse lixo.

Os aterros sanitários são hoje a melhor alternativa para a gestão do resíduo produzido pela população. Estes locais são grandes obras da engenharia, projetados exclusivamente para que o lixo recebido tenha uma gestão adequada e mais consciente, fazendo com que o impacto no meio ambiente seja o menor possível. Aterros são ambientes controlados que tratam de todas as etapas do processamento dos resíduos, dando fim a todos os seus subprodutos, como os gases gerados e o chorume. Uma representação de um aterro pode ser vista na Figura 4.

Figura 4 - Esquemática de um aterro sanitário.



Fonte: Transporte Locações (2013).

2.1.2 CHORUME

Em aterros sanitários e lixões, os resíduos descartados sofrem um processo de decomposição da matéria orgânica acarretando a formação de chorume, líquido de coloração escura, como pode ser observado na

Figura 5. O chorume é uma substância de difícil manuseio, tendo em vista a imprevisibilidade de sua composição, que depende diretamente das condições ambientais e da composição do lixo. Além disso, o chorume possui alta concentração de matéria orgânica e metais pesados, o que constitui um alto potencial de poluição e impacto ao meio ambiente (eCycle, 2021). Sua gestão e tratamento é de fundamental importância.

Figura 5 - Lagoa de depósito de chorume.



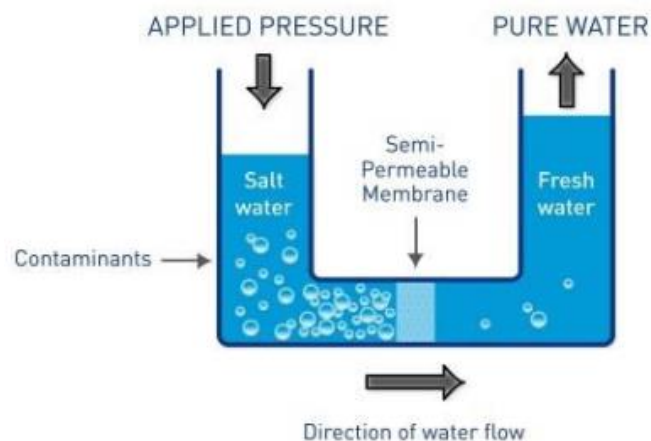
Fonte: Ambiente Legal (2016).

A Lei 1516/2019, obriga o tratamento do chorume proveniente dos aterros sanitários (Tera Ambiental, 2021), essa obrigatoriedade, se baseia na preocupação que este efluente seja reinserido no ecossistema de forma responsável. Se o descarte for realizado de forma irregular e sem controle, os danos ao meio ambiente seriam de difícil recuperação. Atualmente, diversas são as alternativas existente para se realizar o tratamento desse chorume. Existem tecnologias que utilizam soluções biológicas, bioquímicas ou até mesmo físico-químicas.

2.1.3 OSMOSE REVERSA

A osmose reversa é um processo físico de ultrafiltração frequentemente utilizado para a purificação de efluentes, possuindo esse nome pois o efluente exerce o fluxo contrário ao que normalmente faria em um processo de osmose. Em um processo normal de osmose, quando há duas soluções separadas por uma membrana semipermeável, a tendência é que a solução com menor concentração se desloque ao lado da solução com maior concentração até que o sistema atinja seu equilíbrio, isso ocorre quando a pressão da coluna da solução do lado com maior solução exerce uma pressão que impossibilite o processo natural da osmose, essa pressão é chamada de pressão osmótica. O processo de osmose reversa é realizado através da aplicação de uma alta pressão no lado da solução com maior concentração, forçando a passagem da solução de maior concentração pela membrana existente no sistema, fazendo com que uma solução filtrada apareça no outro lado. Uma representação do processo de osmose reversa pode ser observada na Figura 6 (MOURA, MONTEIRO, SILVA, PINTO E FRANÇA, 2008).

Figura 6 - Processo Osmose Reversa.



Fonte: Pentair (2022).

2.1.4 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE CHORUME

O método de tratamento do chorume abordado neste trabalho é o de filtração através de osmose reversa. A planta em si é um sistema compacto instalado em um contêiner marítimo, como pode ser visto na Figura 7, que conta com diferentes equipamentos que garantem seu funcionamento, como diferentes instrumentos de medição que avaliam parâmetros importantes como, temperatura, vazão, pressão, pH, esse monitoramento é importante para garantir que a operação esteja ocorrendo de forma satisfatória. A planta ainda conta com os conjuntos de moto bombas elétricas responsáveis por fazer com que o chorume opere na pressão desejada para que o processo de osmose reversa ocorra. A planta possui também diversos elementos filtrantes como filtros de areia e filtros de cartucho, além das próprias membranas de osmose reversa. Essas etapas extras de filtração são importantes para que o chorume chegue na membrana com a menor quantidade possível de sólidos suspensos, garantindo um bom produto final e uma maior vida útil da membrana. Todo esse processo é automatizado, com o auxílio de um Controlador Lógico Programável (CLP) que monitora e realiza todo o controle necessário das etapas do processo.

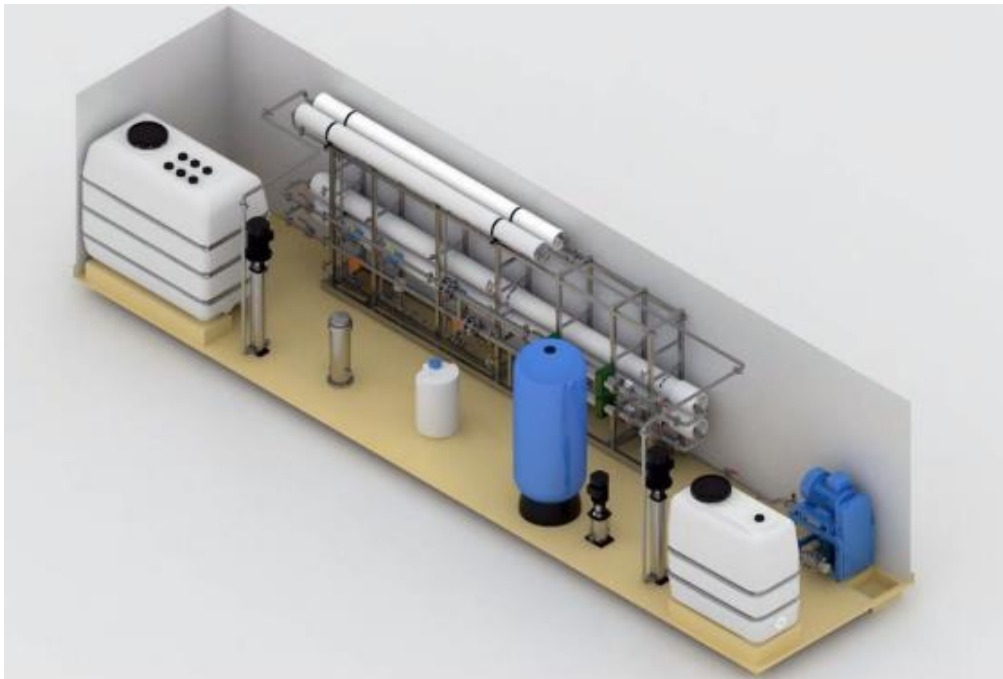
Figura 7 - Estação de tratamento de chorume.



Fonte: AST Ambiente (2022).

Para o processo de filtração, o chorume a ser tratado é succionado com o auxílio de uma bomba de uma lagoa própria onde fica depositado. Em seguida, o efluente é deslocado para um tanque interno, onde em sequência é submetido à processos de filtração antes de entrar de fato nas membranas, onde ocorre o fenômeno da osmose reversa. O processo é dividido em 3 fases, onde cada uma possui uma característica de efluentes. Com isso, as características de cada fase operação diferem entre si, como na quantidade de membranas utilizadas e parâmetros de operação (Ex., como pressão e condutividade). Uma representação interna da planta se encontra na Figura 8.

Figura 8 - Representação interna de uma estação de tratamento de chorume.



Fonte: AST Ambiente (2022).

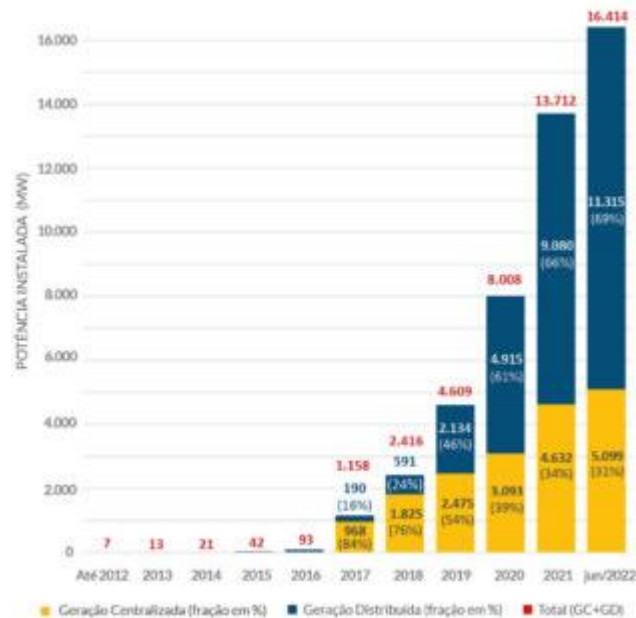
2.2 ENERGIA FOTOVOLTAICA

2.2.1 INTRODUÇÃO

Com a crescente busca por alternativas aos combustíveis fósseis, as energias de fontes renováveis chegam como a principal solução para matriz energética futura. Dentre as fontes de energia renovável, uma que vem se destacando cada vez mais é a energia solar fotovoltaica. Ela se apresenta como uma fonte de energia bastante confiável, uma vez que sua origem é o sol.

Pode-se observar na Figura 9 o constante aumento da potência instalada solar no Brasil ao longo dos anos.

Figura 9 – Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil.

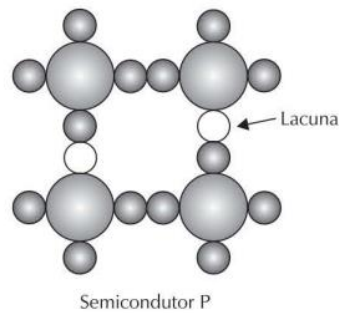


Fonte: ABSOLAR (2022).

2.2.2 FENÔMENO FOTOVOLTAICO

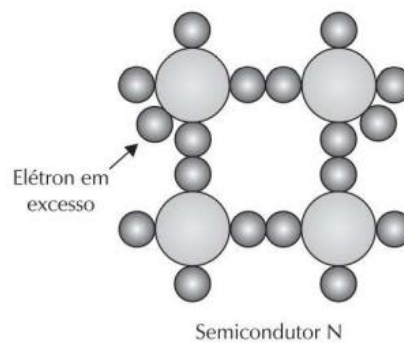
A energia fotovoltaica se dá pela conversão da luz em energia elétrica. Em projetos fotovoltaicos esse fenômeno ocorre nas células fotovoltaicas, onde dois materiais semicondutores, um do tipo P e outro do Tipo N são conectados entre si. Essa conexão de matérias semicondutores diferentes caracterizam uma junção semicondutora, sendo que no semicondutor do tipo P há o déficit de elétrons (como pode ser visto na Figura 10), enquanto que no tipo N há o excesso (como visto na Figura 11). Para que os semicondutores apresentem esse comportamento, é introduzido em sua composição elementos químicos que exercem essa função, por exemplo, para que o semicondutor apresente um estado de déficit de elétrons, ele é dopado com Boro(B), enquanto que para que o condutor possua um estado de excesso de elétrons, ele geralmente é dopado por Fósforo(P) (VILLALVA, 2012).

Figura 10 - Semicondutor P.



Fonte: VILLALVA (2012).

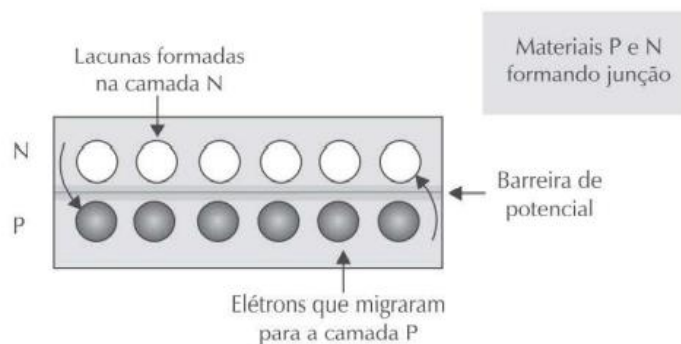
Figura 11 - Semicondutor N.



Fonte: VILLALVA (2012).

Na decorrência dessa junção, os elétrons em excesso da camada N são atraídos pelas lacunas do semicondutor da camada P, com isso, é formada uma zona com cargas positivas na camada N, por conta dos elétrons cedidos, enquanto os elétrons recebidos na camada P dão início a uma região de carga negativa. Isso acarreta a formação de um campo elétrico e uma barreira de potencial entre as camadas que impede a passagem de elétrons entre as camadas, e assim, o sistema se encontra em equilíbrio. Uma representação pode ser observada na Figura 12 (VILLALVA, 2012).

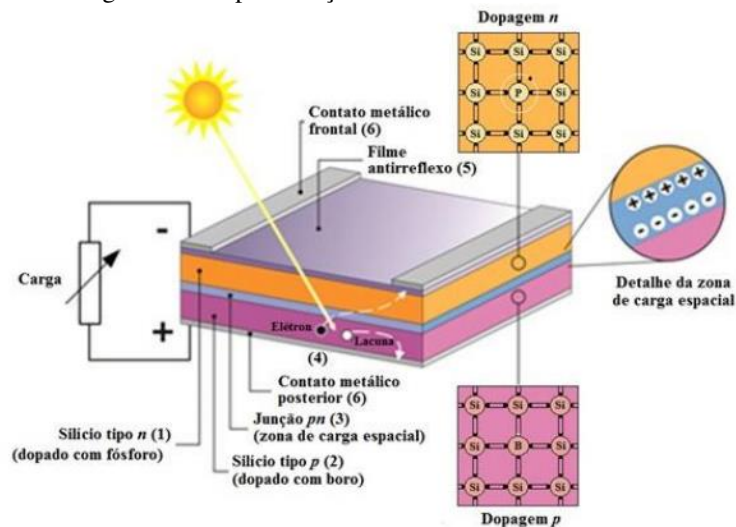
Figura 12- Junção P-N.



Fonte: VILLALVA (2012).

Porém, em células fotovoltaicas, o semicondutor do tipo N é recoberto por uma fina camada que possibilita a incidência de irradiação solar, isso faz com que a luz solar energize os elétrons da camada N com energia suficiente para que a barreira potencial seja rompida. Com isso, se um circuito for fechado, há a formação de uma corrente elétrica, encerrando o fenômeno fotovoltaico (VILLALVA, 2012). Uma representação de um painel fotovoltaico pode ser vista na Figura 13.

Figura 13 - Representação de um Módulo Fotovoltaico.

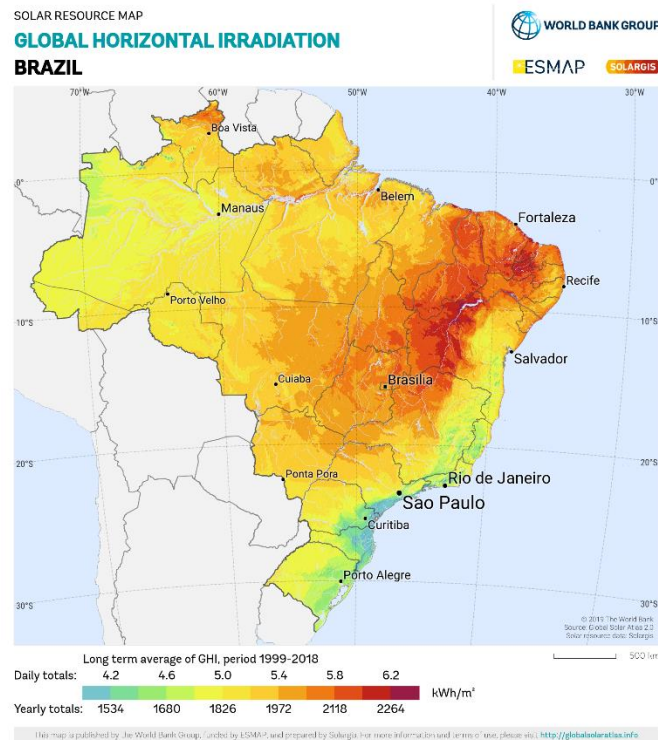


Fonte: PINHO e GALDINO (2014).

2.2.3 IRRADIAÇÃO SOLAR

A irradiação figura como uma das informações mais importantes na elaboração de um projeto solar fotovoltaico, ela informa a quantidade de energia em forma de radiação solar por m^2 que incide em um determinado local. Ela é geralmente expressa em Wh/m^2 e é ponto de partida de um projeto solar fotovoltaico, sendo um indicador valioso para diversas informações, como se o empreendimento é rentável, dimensionamento dos equipamentos, cálculo da produção de energia de um determinado, entre outros. Essa informação geralmente é fornecida na forma de uma tabela com as informações anuais de determinado local. Isso é importante pois ao longo do ano a irradiação tende a sofrer alterações em seus valores, e em posse dessas informações, é possível realizar o melhor planejamento possível para garantir a eficiência de um empreendimento. Um exemplo de mapa de irradiação solar média pode ser observado na Figura 14.

Figura 14 - Irradiação solar média.



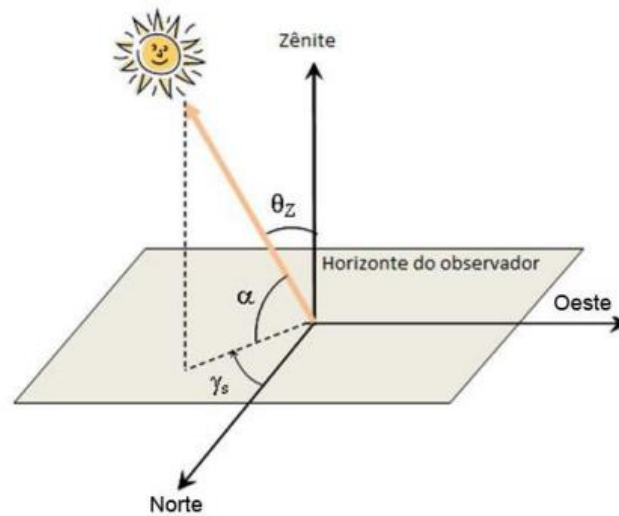
Fonte: Global Solar Atlas (2022).

2.2.4 GEOMETRIA SOLAR

A geometria solar é um conjunto de dados cujo objetivo é informar a posição de um ponto no plano terrestre em relação ao sol (PINHO e GALDINO, 2014). Esses valores são fundamentais para projetos que exigem grande precisão nas informações tratadas, alguns parâmetros que compõem a geometria solar, são:

- Ângulo Zenital (θ_z): Valor referente ao ângulo entre os raios solares e o eixo vertical perpendicular ao ponto observado;
- Altura ou Elevação Solar (α): Valor referente ao ângulo entre os raios solares e a projeção deles em relação ao plano horizontal do ponto observado;
- Ângulo Azimutal Solar (γ_s): É o valor do ângulo que os raios solares no plano horizontal em relação a posição Norte-sul.

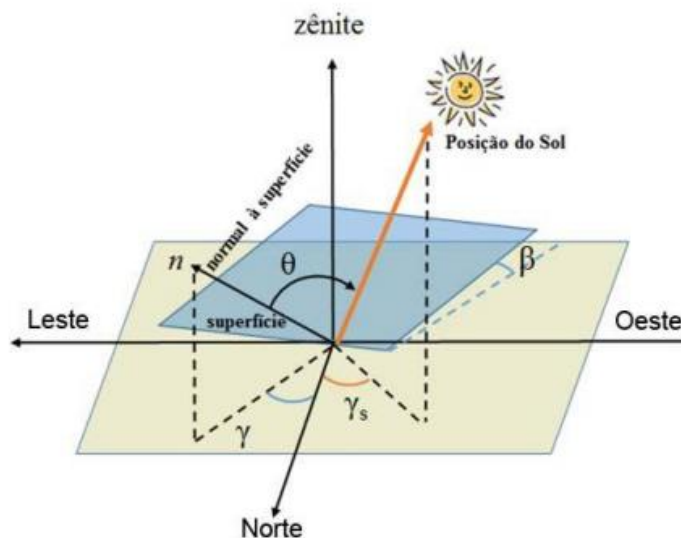
Uma ilustração dos ângulos descritos acima pode ser vista na Figura 15.

Figura 15 – Ângulos θ_z , α e γ_s .

Fonte: PINHO e GALDINO (2014).

- Ângulo azimutal da superfície (γ): Valor referente ao ângulo entre a projeção normal a superfície e a direção Norte-Sul;
- Inclinação da Superfície de Captação (β): Valor referente ao ângulo entre o plano da superfície e o plano horizontal;
- Ângulo de Incidência (θ): Valor referente ao ângulo entre os raios solares e a normal da superfície em que eles incidem.

Uma ilustração dos ângulos descritos acima pode ser vista na Figura 16.

Figura 16 - Ângulos γ , β e θ .

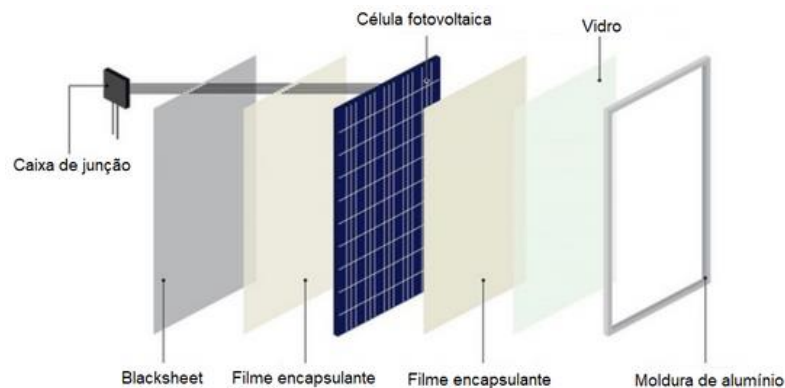
Fonte: PINHO e GALDINO (2014).

2.2.5 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Em qualquer sistema de geração solar, os módulos fotovoltaicos, popularmente chamados de painéis solares, são considerados os principais componentes, sendo responsáveis por possuir a estrutura onde ocorre o fenômeno fotovoltaico, acarretando a geração de energia.

Os painéis solares são a junção de diversas células fotovoltaicas. Sua composição é em grande maioria de Silício (Si), elemento escolhido por conta de sua grande disponibilidade e propriedade semicondutora (VILLALVA, 2012). Hoje em dia muito se avançou na tecnologia de construção dos módulos, possibilitando uma grande variedade de tipos no mercado. Essas tecnologias podem diferir em relação a seus aspectos construtivos, composição, entre outros fatores. Uma representação simplificada construtiva de um módulo fotovoltaico pode ser vista na Figura 17.

Figura 17 - Módulo Fotovoltaico.



Fonte: Sol central (2022).

Os módulos fotovoltaicos contam com diversas tecnologias envolvidas em sua construção, sendo a predominante no mercado a de silício monocristalino e policristalino.

2.2.5.1 MÓDULOS MONOCRISTALINO

O Módulo de Silício Monocristalino (m-Si) é a maior referência de eficiência de operação em módulos que utilizam Silício em sua construção. Isso se dá por conta da alta pureza do Silício empregado em sua composição, com um índice de pureza de até 99,99% (CGEE, 2009). Para que isso seja possível, o Silício é submetido a um processo chamado de método de Czochralski, onde o Silício em sua forma pura é derretido em um forno em conjunto com uma

semente de monocristal de Silício (Portal Solar, 2022). O resultado desse processo é um lingote de Silício monocristalino como pode ser observado na Figura 18. Ele que possui esse aspecto uniforme por conta da sua organização molecular homogênea.

Figura 18 - Lingote de Silício monocristalino.



Fonte: VILLALVA (2012).

Os painéis monocristalinos são facilmente reconhecidos por conta da sua coloração uniforme como pode ser visto na Figura 19. Atualmente eles contam com uma eficiência que pode chegar a 18%. Uma vantagem dessa eficiência é a necessidade de utilização de menos células para a geração de uma certa potência. Em contrapartida, uma desvantagem desse tipo de célula é o seu custo superior as outras tecnologias (VILLALVA, 2012).

Figura 19 - Painel monocristalino.



Fonte: America do Sol (2020).

2.2.5.2 MÓDULOS POLICRISTALINO

Os módulos Policristalinos possuem um processo de fabricação similar aos monocristalinos, porém, o lingote final não possui a mesma aparência homogênea. Ao invés disso, ele possui pequenos cristais em direções aleatórias e tamanhos não uniformes, como podem ser vistos na Figura 20.

Figura 20 - Lingote de Silício policristalino.



Fonte: VILLALVA (2012).

Essa estrutura de cristais não homogêneas acarretam uma perda de eficiência das células, que apresentam uma eficiência final em torno de 15% (Portal Solar, 2022), embora existam equipamentos hoje em dia que são capazes de aumentar esse valor. Mesmo que não seja a tecnologia com a maior eficiência disponível no mercado, os módulos fotovoltaicos policristalinos têm como grande diferencial seu bom custo-benefício, sendo geralmente o painel escolhido em projetos solares fotovoltaicas. Uma imagem de um módulo policristalino pode ser visto na Figura 21.

Figura 21 - Painel policristalino.

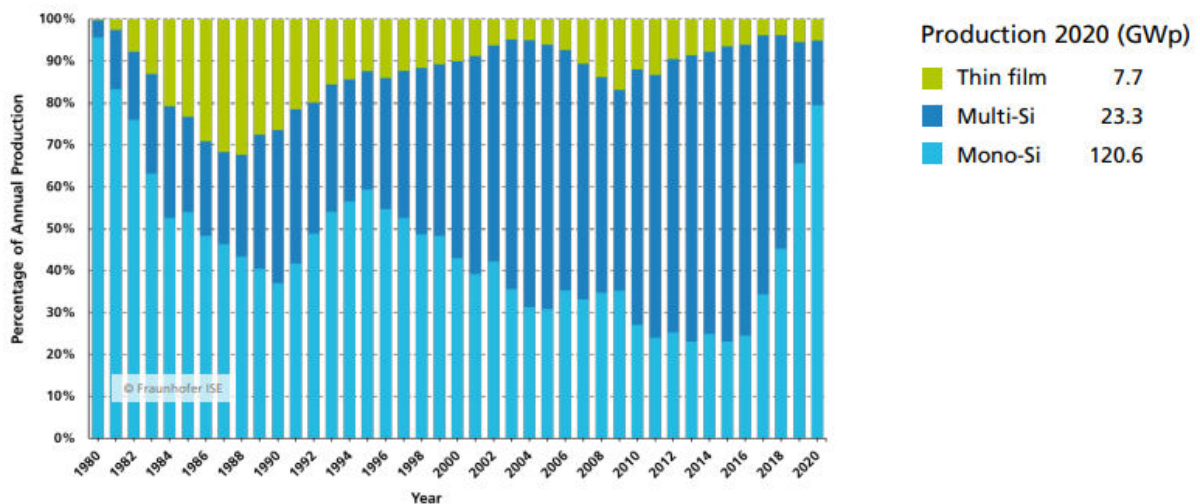


Fonte: UFSC (2010).

Outra opção para a produção dos painéis fotovoltaicos é a tecnologia de Filme Fino, em que, diferentemente da tecnologia de célula cristalina, contam com apenas uma fina camada de material que podem ser dispostas sobre uma base, que por sua vez, pode ou não ser rígida (VILLALVA, 2012).

Essa tecnologia possui vantagens e desvantagens se comparada com as tecnologias cristalina. As células de filme finos necessitam de menos matéria prima e energia para sua produção, o que acarreta numa diminuição do custo envolvido. Porém devido a sua baixa eficiência, é necessária a construção de painéis com maiores áreas, para que a eficiência seja equivalente à dos painéis cristalinos (VILLALVA, 2012). Na Figura 22, pode ser vista uma representação comparativa entre as diferentes tecnologias de painéis no mercado.

Figura 22 - Comparativo Células cristalinas e de filme fino no mercado.



Fonte: Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (2022).

2.2.6 INVERSORES

OS inversores CC-CA são de fundamental importância na elaboração de sistemas solares fotovoltaicos. Sua utilização é necessária para converter a corrente produzida pelos painéis solares, que é contínua, em corrente alternada. Os inversores comerciais disponíveis hoje em dia no mercado apresentam tensões de entrada nos valores de 12V, 24V ou 48V em corrente contínua, enquanto as tensões de saída seguem o padrão brasileiro das redes de distribuição de corrente alternada de 127 V ou 220 V, com frequência em 60 Hz (VILLALVA, 2012). Um inversor solar pode ser visto na Figura 23.

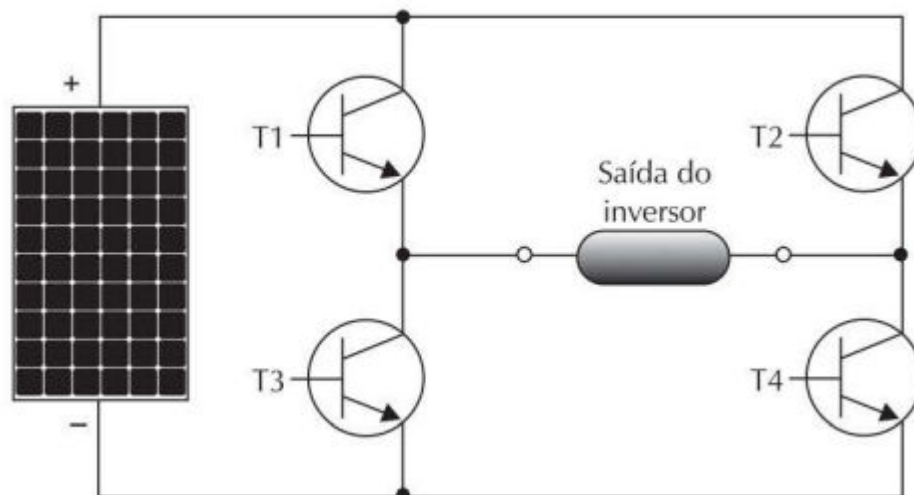
Figura 23 - Inversores CC-CA.



Fonte Engegrid (2019).

O esquema simplificado de um inversor pode ser visto na Figura 24. Nela é mostrado a disposição dos transistores que compõem a estrutura do inversor, transistores podem ser considerados chaves eletrônicas que possibilitam a passagem de corrente elétrica, caso estejam fechadas, ou interrompam sua circulação, caso estejam abertas. O funcionamento de um inversor se dá na alternância de ativação dos transistores: considerando o inversor da Figura 24, tem-se uma tensão positiva nos terminais de saída do inversor quando os transistores T1 e T4 são ligados, enquanto caso T2 e T3 sejam ligados, teremos uma tensão de polaridade invertida na saída do inversor (VILLALVA, 2012).

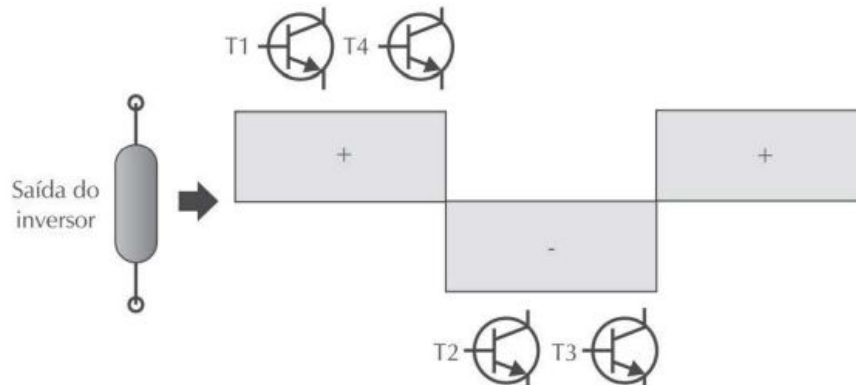
Figura 24 – Circuito eletrônico básico do inversor CC-CA.



Fonte: VILLALVA (2012).

Com essa alternância de pares de transistores sendo realizada com uma frequência fixa, tem-se a formação tensão de saída em formato de uma onda quadrada (VILLALVA, 2012), como pode ser observado na Figura 25.

Figura 25 - Onda quadrada de um Inversor.



Fonte: VILLALVA (2012).

Entretanto, nesse arranjo não é possível controlar a tensão de saída do inversor, para isso, é realizada uma técnica em que os transistores são acionados com um certo tempo de defasagem entre eles (PINHO e GALDINO, 2014). A equação pode ser vista na relação (1), enquanto o formato de onda pode ser observado na Figura 26.

$$V_{\text{rms}} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} * V_{\text{cc}} * \cos\left(\frac{\pi * t_c}{T}\right) \quad (1)$$

Onde:

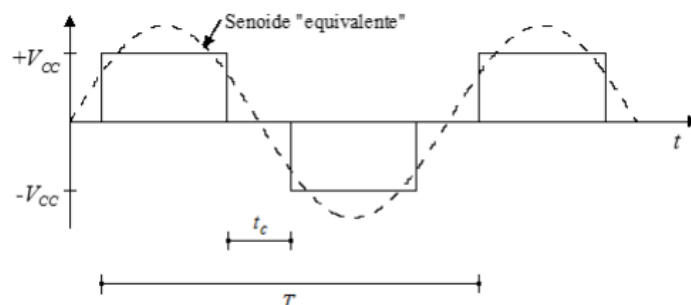
V_{rms} (V) – Tensão eficaz da componente fundamental

V_{cc} (V) – Tensão cc da entrada

T (s) – Período da senoide ($\frac{1}{60}$)

t_c (s) – Período de bloqueio (intervalo entre os pulsos)

Figura 26 - Onda Quadrada.

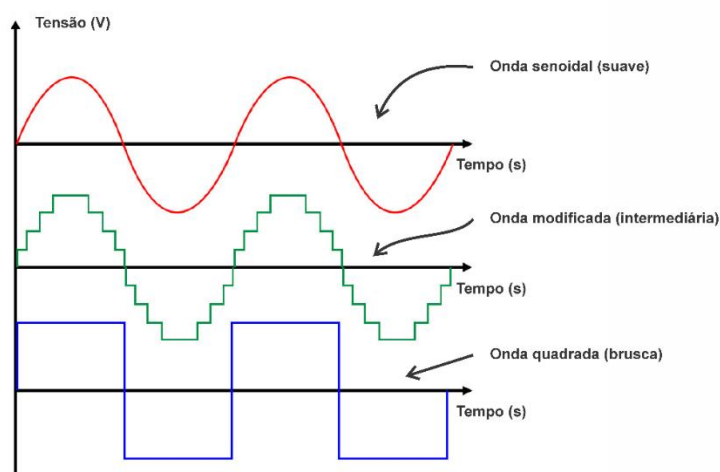


Fonte: Fonte: PINHO e GALDINO (2014).

Os inversores podem diferir entre si de acordo com o formato de onda da tensão de saída, no seu modo mais básico, tem-se a onda quadrada, como já foi observada anteriormente, que apresentam grande simplicidade e por conta disso contam com grande distorção harmônica. Em uma posição intermediária, existem os inversores com ondas senoidais modificadas, que apresentam um avanço se comparado aos de onda quadradas, porém, ainda possuem distorção harmônicas e assim como as quadradas, são recomendadas para aplicações mais simples, onde não se é necessária uma grande confiabilidade. Por fim, os inversores com onda senoidal pura, que possuem em sua saída um formato de onda senoidal quase perfeita, com baixíssima distorção harmônica, esses inversores utilizam a tecnologia *Pulse Width Modulation (PWM)*, em que são geradas diversas ondas quadradas pequenas para que se aproxime o máximo possível da onda senoidal perfeita. Esses inversores são os mais avançados em questões tecnológicas, o que justificam seu elevado custo, porém, são os mais recomendados em projetos onde se necessita de equipamentos de alta performance e confiabilidade (VILLALVA, 2012).

Um comparativo entre os três tipos de ondas descritos anteriormente pode ser observado na Figura 27.

Figura 27 – Formatos de Onda.



Fonte: TRX Solar (2019).

Os inversores fotovoltaicos utilizados nos dias de hoje podem também ser usados em diferentes aplicações conforme o arranjo utilizado no sistema fotovoltaico. O mais utilizado atualmente é o inversor *grid tie*, que são utilizados em sistemas conectados à rede de distribuição elétrica. Eles possuem a tecnologia necessária para adaptarem a saída do inversor a tensão e frequência da rede. Esses inversores contam com mecanismos de segurança para se

desligarem caso ocorra a interrupção na rede elétrica. Essa característica é importante para se evitar o fenômeno de ilhamento, que ocorre quando um sistema fotovoltaico continua operando e produzindo energia mesmo com a rede de energia elétrica da concessionária desligada, acarretando problemas de segurança operacional e também de má qualidade de energia da rede (Yellot, 2018). Ainda dentro do grupo dos inversores *grid tie*, existem diferentes modelos, cada um de acordo com o sistema em que será instalado, alguns exemplos podem ser vistos a seguir:

- Inversor *String* – Em português, *String* significa linha, eles recebem essa nomenclatura pois uma linha de painéis é ligada a apenas um inversor, são utilizados em sua grande maioria em sistema de microgeração por serem recomendados para sistemas de pequeno porte;
- Inversor Central – São inversores de maior porte, recomendados para sistema de minigeração e geração centralizada, são utilizados em usinas de geração superiores a 100 kW de potência instalados;
- Microinversores – Inversores de baixa potência, geralmente não ultrapassando 1 Kw de potência, são utilizados em sistemas em que cada módulo fotovoltaico produz energia de forma independente, nesses arranjos, esses inversores são conectados a poucos módulos.

Outro Inversor utilizado é o *off grid*, que diferentemente do *grid tie*, é utilizado em casos em que o sistema não está conectado à rede de energia elétrica. Nesse tipo de arranjo o inversor recebe a corrente em sua forma contínua diretamente do banco de baterias e fornecendo as cargas.

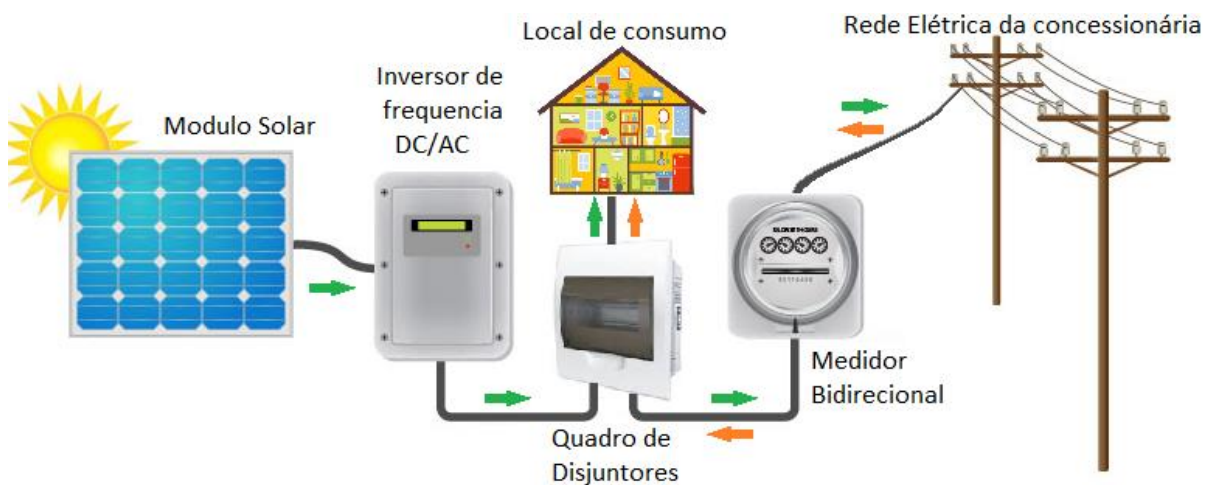
Por fim, os inversores híbridos, que combinam tecnologias tanto dos inversores *grid tie*, quanto dos *off grid*. Com esses inversores, o sistema consegue operar na rede elétrica enquanto a mesma estiver disponível e ao mesmo tempo carrega o banco de baterias, porém caso ocorra algum problema no fornecimento, ele consegue se desligar da rede e trabalhar de forma autônoma com energia proveniente das baterias (Elysia, 2017).

2.2.7 TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

A geração fotovoltaica possui diferentes arranjos e possibilidades de conexão, sendo o sistema *on grid* o mais popular entre eles. Os sistemas solares *on grid* possuem esse nome por estarem conectados à rede de distribuição de energia elétrica. Um esquema simplificado de uma planta *on grid* pode ser visto na Figura 28. Esse arranjo se torna possível por conta do medidor

bidirecional, quando a geração está além da demanda da carga, o medidor possibilita que o excesso de energia seja injetado na rede e retorne ao proprietário em forma de crédito, enquanto caso a geração não seja o suficiente, a energia da rede distribuição seja inserida para que a carga seja suprida. Os sistemas ainda podem ser distinguidos em sistema de microgeração e minigeração, enquanto o primeiro se caracteriza por plantas com a potência até 75 kW, a minigeração se caracteriza em um sistema com potência entre 75 kW e 5 MW.

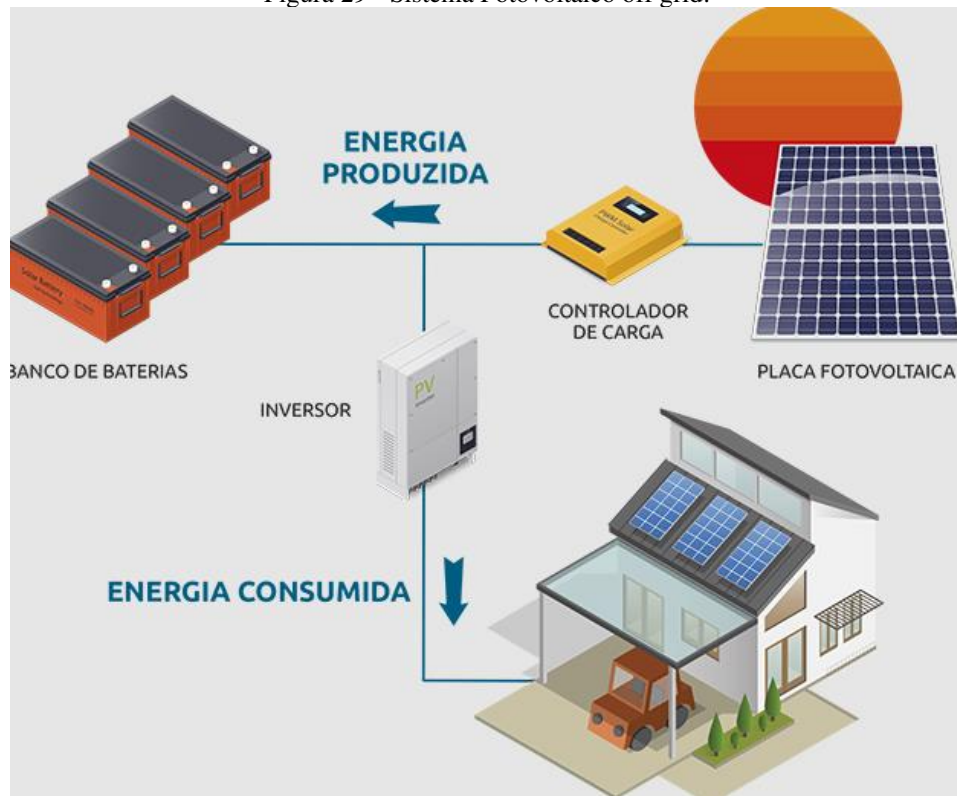
Figura 28 - Sistema fotovoltaico *on grid*.



Fonte: BMC Energia (2022).

Já os sistemas *off grid*, não possuem qualquer ligação com a rede elétrica, um arranjo característico pode ser observado na Figura 29, eles possuem total autonomia, isso só é possível por conta do seu banco de baterias, que garante a energia necessária em ocasiões de baixa geração solar, como é o caso do período noturno. Embora seja interessante a autonomia da geração, principalmente em locais mais isolados onde não se possui um fornecimento de energia da concessionária, esse sistema ainda possui um elevado custo se comparado com o *on grid*, isso porque a tecnologia das baterias ainda se mostra cara, mesmo com os avanços apresentados nos últimos anos.

Figura 29 - Sistema Fotovoltaico off grid.



Fonte Eco Aquecedores (2022).

3 PROJETO DA USINA FOTOVOLTAICA

3.1 INTRODUÇÃO

O sistema fotovoltaico tem como objetivo suprir as cargas no período diurno e produzir crédito de energia o suficiente para o período noturno, quando não houver a incidência de irradiação solar. Atualmente, essa dinâmica de geração se torna possível por conta da Resolução Normativa nº 482, que concebe a possibilidade de consumidores com geração distribuída injetarem na rede de distribuição elétrica toda a energia que está sendo gerada em excesso, sendo uma alternativa para compensar os períodos noturnos sem que se torne necessária a instalação de bancos de bateria.

3.2 LOCALIZAÇÃO

A localização escolhida para o desenvolvimento do projeto da usina fotovoltaica é um Aterro Sanitário localizado no estado do Ceará. Uma imagem aérea do local poder ser visto na Figura 30.

Figura 30 - Vista aérea aterro sanitário.



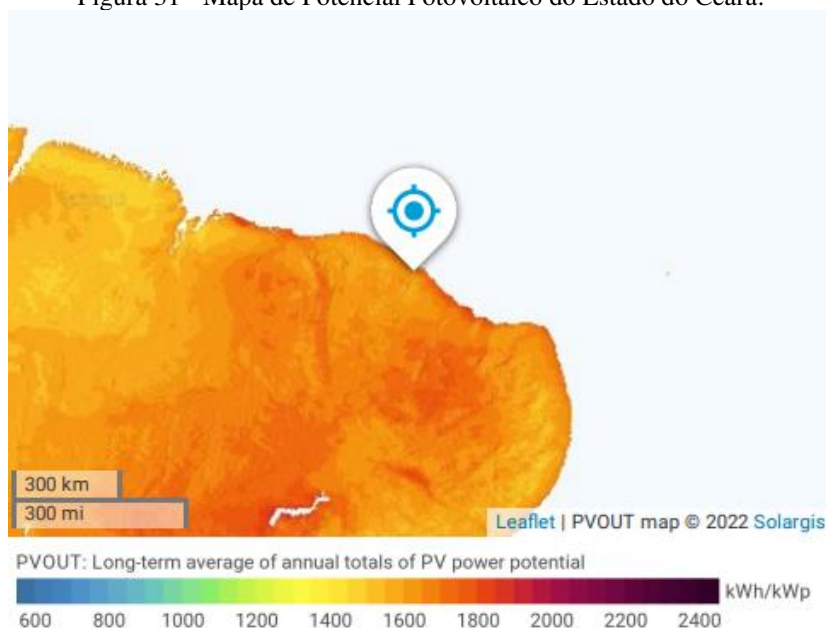
Fonte: Google Earth (2022).

Esse local foi escolhido pelo fato do estado do Ceará possuir bom nível de irradiação solar sendo um bom indicador para implementação de usina solar fotovoltaica.

3.3 INFORMAÇÕES SOLARES

Como dito anteriormente, o estado do Ceará possui uma boa incidência de irradiação solar, o que torna o investimento em energia solar uma alternativa bem atrativa. O mapa apresentado na Figura 31 apresenta a média anual de potência fotovoltaico no estado do Ceará.

Figura 31 - Mapa de Potencial Fotovoltaico do Estado do Ceará.



Fonte: Global Solar Atlas (2022).

O relatório completo com todas as informações acerca da irradiação além de outras informações do local se encontra no anexo A. Outra informação fundamental para o dimensionamento do projeto proposto desse trabalho é a irradiação solar diária média mensal, esses dados podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1 - Irradiação solar diária média mensal no local do aterro [kWh/m².dia].

| Posição | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ | Média |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|
| Plano Horizontal | 5,58 | 5,57 | 5,35 | 4,71 | 5,09 | 5,11 | 5,42 | 6,01 | 6,17 | 6,3 | 6,25 | 5,82 | 5,62 |
| Ângulo igual a Latitude | 5,44 | 5,49 | 5,34 | 4,76 | 5,23 | 5,29 | 5,59 | 6,14 | 6,19 | 6,23 | 6,09 | 5,64 | 5,62 |
| Maior Média Mensal | 5,48 | 5,51 | 5,34 | 4,75 | 5,2 | 5,25 | 5,55 | 6,11 | 6,19 | 6,25 | 6,13 | 5,69 | 5,62 |
| Maior Número Mensal | 4,92 | 5,13 | 5,2 | 4,84 | 5,52 | 5,7 | 5,99 | 6,37 | 6,14 | 5,88 | 5,52 | 5,04 | 5,52 |

Fonte: Próprio autor, adaptado de (CRESESB, 2022).

3.4 DEMANDA ELÉTRICA DA PLANTA DE TRATAMENTO

Ambas as plantas de tratamento de chorume possuem perfis de carga idênticos. Seus principais componentes responsáveis pelo seu consumo de energia elétrica são motores e bombas. A carga restante se distribui em equipamentos eletrônicos e outros dispositivos de baixo consumo, como iluminação e ventiladores.

Foi feito o levantamento do consumo mensal dos sistemas no ano de 2021, esse levantamento foi realizado com auxílio do medidor de energia presente em cada máquina. Os valores da planta 1 se encontram na Tabela 2, enquanto os valores do sistema 2 se encontram na Tabela 3, por fim, os valores totais da estação de tratamento de chorume se encontram na Tabela 4.

Tabela 2 - Consumo planta 1.

| Planta 1 | |
|----------|--------------|
| Mês | Consumo(Kwh) |
| jan/21 | 37300 |
| fev/21 | 38516 |
| mar/21 | 48066 |
| abr/21 | 44058 |
| mai/21 | 46824 |
| jun/21 | 44878 |
| jul/21 | 50269 |
| ago/21 | 49643 |
| set/21 | 51778 |
| out/21 | 50105 |
| nov/21 | 47935 |
| dez/21 | 52782 |

Fonte: Próprio autor.

Tabela 3 - Consumo planta 2.

| Planta 2 | |
|----------|--------------|
| Mês | Consumo(Kwh) |
| jan/21 | 35409 |
| fev/21 | 40112 |
| mar/21 | 49744 |
| abr/21 | 51905 |
| mai/21 | 52694 |
| jun/21 | 48952 |
| jul/21 | 51027 |
| ago/21 | 56590 |
| set/21 | 53636 |
| out/21 | 50091 |
| nov/21 | 51368 |
| dez/21 | 56148 |

Fonte: Próprio autor.

Tabela 4 - Consumo Total.

| Total | |
|----------------------|----------------|
| Mês | Consumo(Kwh) |
| jan/21 | 72709 |
| fev/21 | 78628 |
| mar/21 | 97810 |
| abr/21 | 95963 |
| mai/21 | 99518 |
| jun/21 | 93830 |
| jul/21 | 101296 |
| ago/21 | 106233 |
| set/21 | 105414 |
| out/21 | 100196 |
| nov/21 | 99303 |
| dez/21 | 108930 |
| Total: | 1159830 |
| Média Mensal: | 96652 |
| Média Diária: | 3177 |

Fonte: Próprio autor.

3.5 EQUIPAMENTOS DA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA

Para o dimensionamento do sistema solar fotovoltaico, uma das escolhas mais importantes é a de qual módulo fotovoltaico e qual inversor utilizar. Para o módulo foi escolhido o painel da Canadian Solar Hiku6 de Silício monocristalino de 540 W de potência. Esse módulo foi escolhido por possuir boa eficiência, podendo chegar até 21,3%, além do fato da Canadian Solar ser uma marca bastante consolidada no mercado. Uma parte da folha de dados no módulo pode ser vista na Figura 32 , enquanto ela completa está disponível no anexo B.

Figura 32 - Especificações técnicas módulo fotovoltaico.

| CS6W | 525MS | 530MS | 535MS | 540MS | 545MS |
|------------------------------|---|---------|---------|---------|---------|
| Nominal Max. Power (Pmax) | 525 W | 530 W | 535 W | 540 W | 545 W |
| Opt. Operating Voltage (Vmp) | 40.4 V | 40.6 V | 40.8 V | 41.0 V | 41.2 V |
| Opt. Operating Current (Imp) | 13.00 A | 13.06 A | 13.12 A | 13.18 A | 13.23 A |
| Open Circuit Voltage (Voc) | 48.6 V | 48.8 V | 49.0 V | 49.2 V | 49.4 V |
| Short Circuit Current (Isc) | 13.75 A | 13.8 A | 13.85 A | 13.9 A | 13.95 A |
| Module Efficiency | 20.5% | 20.7% | 20.9% | 21.1% | 21.3% |
| Operating Temperature | -40°C ~ +85°C | | | | |
| Max. System Voltage | 1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL) | | | | |
| Module Fire Performance | TYPE 1 (UL 61730) or CLASS C (IEC 61730) | | | | |
| Max. Series Fuse Rating | 25 A | | | | |
| Application Classification | Class A | | | | |
| Power Tolerance | 0 ~ + 10 W | | | | |

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

Fonte: Canadian Solar (2022).

Para o Inversor, foi escolhido o Inversor Tauro Eco 100-3-D da marca Fronius. Esse modelo foi escolhido por possuir bom range de potência, que atende as necessidades do sistema, além do fato da Fronius ser umas das principais marcas disponíveis no mercado internacional. Uma imagem da folha de dados do inversor poder ser observada na Figura 33, enquanto o *Datasheet* completo está no anexo C.

Figura 33 - Especificação técnica inversor.

| DADOS DE ENTRADA | FRONIUS TAURO ECO 50-3-D | FRONIUS TAURO ECO 100-3-D |
|---|--------------------------|---------------------------|
| Número de rastreadores MPP | 1 | |
| Corrente máx. de entrada (I _{cc} máx) | 87,5 A | 175 A |
| Corrente máx. de curto-circuito (I _{sc} máx) | 178 | 355 |
| Tensão máxima de entrada CC (U _{cc} máx) | 1000 V | |
| Tensão inicial de alimentação (U _{cc} start) | 650 V | |
| Faixa de tensão MPP | 580-930 V | |
| Número de conexões CC | 14 ¹ | 22 ² |
| Corrente nominal das chaves seccionadoras (PV1, PV2 e PV3) | 75 / 75 A | 75 / 75 / 75 A |
| Corrente máx. de curto-circuito das chaves seccionadoras (PV1, PV2 e PV3) | 125 / 125 A | 125 / 125 / 125 A |
| Potência máx. dos módulos (P _{cc} máx) | 75kWp | 150kWp |

Fonte: Próprio autor, adaptado de (Fronius, 2022).

3.6 DIMENSIONAMENTO DA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA

Nesse item é realizado o dimensionamento necessário para planta de minigeração solar. De posse das informações de consumo e irradiação, além dos equipamentos já escolhidos, já é possível realizar os cálculos necessários para o projeto da usina.

Primeiramente é necessário calcular a potência total que é demandada do sistema, a equação para esse cálculo pode ser vista em (2). O valor de eficiência do sistema é obtido após ser descontadas as perdas que podem ocorrer no processo, como perdas por sujeira nos módulos, perdas Ôhmicas, por sombreamento e etc. para o sistema estudado, foi considerado 25% de perdas, sendo um valor bastante conservador.

$$P_{\text{tot}} = \frac{\text{Consumo Diário}}{I * \eta} \quad (2)$$

Onde:

P_{tot} (kW) - Potência total do sistema fotovoltaico

I ($\frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$.dia) - Irradiação média diária

η (%) - Eficiência do sistema

Realizando o cálculo, é encontrado:

$$P_{\text{tot}} = \frac{3177}{5,62 * 0,75}$$

$$P_{\text{tot}} = 753,74 \text{ kW}$$

Com a informação da potência total demandada da nossa usina, já é possível realizar o cálculo do número de painéis necessários, a fórmula pode ser vista na relação (3).

$$N_{\text{pn}} = \frac{P_{\text{tot}}}{P_{\text{pn}}} \quad (3)$$

Onde:

N_{pn} - Número de Painéis

P_{tot} (kW) - Potência total do sistema fotovoltaico

P_{pn} (kW) - Potência por painel

É obtido:

$$N_{\text{pn}} = \frac{753,74}{0,54}$$

$$N_{\text{pn}} = 1395,81 \cong 1396 \text{ Painéis}$$

Em posse do número total de módulos, é necessário realizar o estudo de como deve ser feito o arranjo entre eles, esse processo tem como objetivo otimizar o fornecimento de energia dos módulos. Inicialmente, os módulos são ligados em série, em arranjos que são chamados de *strings*, o cálculo de quantos módulos são possíveis ser ligados em uma *string* pode ser observado na relação (4).

$$\text{Módulos}_{\text{string}} = \frac{V_{\text{ccmax}}}{V_{\text{oc}}} \quad (4)$$

Onde:

$\text{Módulos}_{\text{string}}$ - Módulos quem podem ser ligados em série

V_{ccmax} (V) - Tensão máxima de entrada do inversor

$V_{oc}(V)$ - Tensão de circuito aberto do módulos

Após consulta nas folhas de dados do módulo e do inversor, é obtido:

$$\text{Módulos}_{\text{string}} = \frac{1000}{49,2}$$

$$\text{Módulos}_{\text{string}} = 20,32 \cong 20 \text{ módulos}$$

Em posse da informação de quantos módulos podem ser ligados em série, já é possível o cálculo da quantidade *strings* necessárias, tendo em vista que já é conhecido o número de módulos necessários, a equação pode ser vista na relação (5).

$$\text{Total}_{\text{string}} = \frac{N_{\text{pn}}}{\text{Módulos}_{\text{string}}} \quad (5)$$

Onde:

$\text{Total}_{\text{string}}$ - Número total de *strings* necessárias

N_{pn} - Número de Painéis

$\text{Módulos}_{\text{string}}$ - Módulos quem podem ser ligados em série

É encontrado:

$$\text{Total}_{\text{string}} = \frac{1396}{20}$$

$$\text{Total}_{\text{string}} = 69,8 \cong 70 \text{ Strings}$$

Com isso, é encontrado um novo valor total de painéis, que expresso na relação (6).

E uma nova potência do sistema expresso na relação (7).

$$\text{Total de módulo} = \text{Módulos}_{\text{string}} * \text{Total}_{\text{string}} \quad (6)$$

$$\text{Total de módulo} = 20 * 70 = 1400 \text{ módulos}$$

$$\text{Potência Total} = \text{Total de módulo} * P_{pn} \quad (7)$$

$$\text{Potência Total} = 1400 * 0,54 = 756 \text{ kWp}$$

Com a nova potência do sistema e quantidade de potência em que o Inversor suporta, podemos calcular por fim, quantos inversores são necessários para a usina fotovoltaica. O cálculo pode ser visto na relação (8)

$$\text{Total}_{\text{Inversores}} = \frac{\text{Potência Total}}{P_{\text{maxInversor}}} \quad (8)$$

Onde:

$\text{Total}_{\text{Inversores}}$ - Número total de inversores necessários

$P_{\text{maxInversor}}$ (kW) – Potência máxima de entrada do inversor

Após consulta ao *Datasheet* do Inversor, é encontrado:

$$\text{Total}_{\text{Inversores}} = \frac{756}{150}$$

$$\text{Total}_{\text{Inversores}} = 5,04 \cong 5 \text{ Inversores}$$

Como o cálculo leva em consideração a potência pico de todos os módulos, é seguro o uso de 5 inversores e não 6, tendo em vista que um cenário em que todos os módulos estejam operando com potência máxima ao mesmo tempo seja pouco provável.

3.7 MONTAGEM DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Além do dimensionamento do sistema fotovoltaico, a montagem é uma etapa que merece total atenção em qualquer projeto fotovoltaico, orientação dos módulos, cálculo da área ocupada e diversos outros fatores devem ser levados em questão. Um dos procedimentos a serem determinados na instalação do sistema é o ângulo de inclinação dos painéis. Um módulo mal direcionado, pode resultar em um sistema que não absorve todo o potencial solar do local.

Como observado por VILLALVA (2012)., uma boa forma de se definir a angulação do painel é levando em consideração a latitude geográfica do site onde será instalado o sistema

solar fotovoltaico, uma relação com os ângulos de inclinação recomendados pode ser vista na Figura 34.

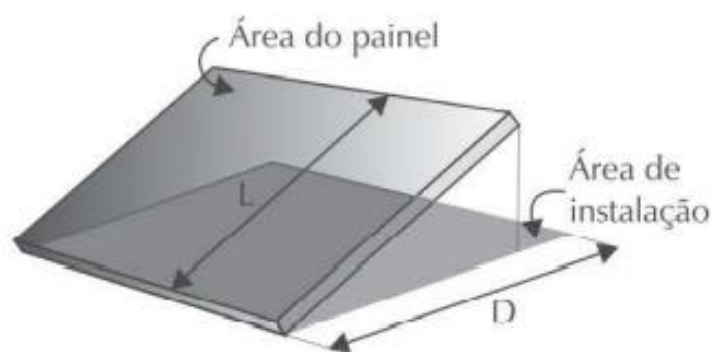
Figura 34 - Tabela do ângulo de inclinação recomendado.

| Latitude geográfica do local | Ângulo de inclinação recomendado |
|------------------------------|---------------------------------------|
| 0° a 10° | $\alpha = 10^\circ$ |
| 11° a 20° | $\alpha = \text{latitude}$ |
| 21° a 30° | $\alpha = \text{latitude} + 5^\circ$ |
| 31° a 40° | $\alpha = \text{latitude} + 10^\circ$ |
| 41° ou mais | $\alpha = \text{latitude} + 15^\circ$ |

Fonte: VILLALVA (2012).

Como já mencionado, o sistema está localizado em uma cidade com uma latitude de -3.794482373755523 , então, o ângulo recomendado para a inclinação do módulo é de 10° . Em posse da informação do ângulo de inclinação, já é possível realizar cálculo do espaçamento entre as placas, essa que é uma informação fundamental a fim de se evitar perdas na geração oriundas de sombreamento das placas. Esse cálculo deve ser feito, levando-se em consideração as dimensões do módulo em relação com o ângulo de inclinação do painel, já apresentado anteriormente. Uma imagem relacionando a área do painel e área de instalação pode ser vista na Figura 35.

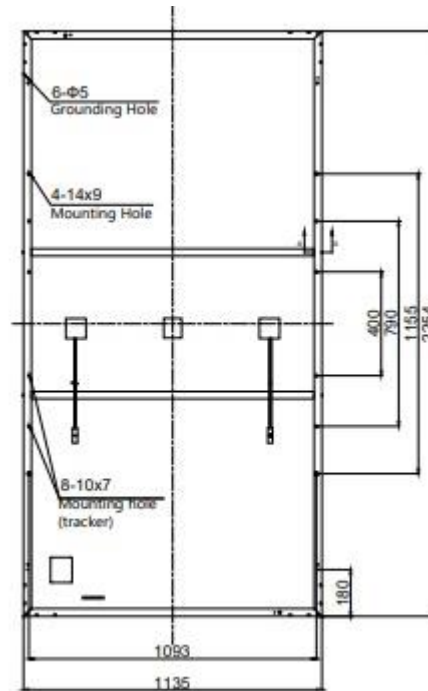
Figura 35 - Relação entre área do painel e área de instalação.



Fonte: VILLALVA (2012).

Através da Figura 36, é possível observar que o módulo escolhido possui as dimensões de 2254 mm de comprimento e 1135 mm de largura.

Figura 36 - Dimensões do módulo fotovoltaico.



Fonte: Canadian Solar (2022).

O cálculo da área pode ser visto na relação (9) abaixo:

$$\text{Área}_{\text{Instalação/módulo}} = D * X \quad (9)$$

Onde:

D (mm) - Comprimento da área de instalação

X (mm) – Largura do módulo fotovoltaico.

Porém, antes de se realizar o cálculo da Área instalada, é necessário acharmos o valor da largura da área de instalação. A fórmula para a obtenção da largura, pode ser vista na relação (10).

$$D = \text{Cos}(\delta) * L \quad (10)$$

Onde:

δ (°) - Ângulo de inclinação do painel

L (mm) – Comprimento do módulo fotovoltaico.

Substituindo os valores, é encontrado:

$$D = \cos(10) * 2254$$

$$D = 2219,76 \text{ mm}$$

Em posse desse valor, já é possível se realizar o cálculo da área de instalação de cada módulo, para isso, basta substituir as informações na relação (9).

$$\text{Área}_{\text{Instalação/módulo}} = 1135 * 2219,76$$

$$\text{Área}_{\text{Instalação/módulo}} = 2,52 \text{ m}^2$$

Esse valor encontrado leva em conta somente os módulos instalados de forma contínua sem que haja qualquer espaçamento entre eles, porém, na realidade isso não é recomendado, pois o sombreamento entre os painéis acarretaria numa perda de geração considerável, que deve ser evitada, por isso, é desejado sempre calcular o espaçamento entre os módulos. Uma ilustração de como os espaçamento entre módulo deve ser feito pode ser visto na Figura 37.

Figura 37 - Cálculo do espaçamento entre fileiras de painéis.



Fonte: VILLALVA (2012).

Da Figura 37, é possível deduzir a relação (11), de onde é retirado a distância d , referente aos espaçamentos entre as placas.

$$d = 3,5 * Z \tag{11}$$

Onde:

d (mm) - Distância entre painéis

Z (mm) – Altura da haste de suporte do painel.

Para a obtenção da altura da haste de suporte de painel, foi utilizado a relação trigonométrica (12) abaixo:

$$Z = \text{sen}(\delta) * L \quad (12)$$

Onde:

Z (mm) – Altura da haste de suporte do painel.

L (mm) – Comprimento do módulo fotovoltaico.

δ (°) - Ângulo de inclinação do painel

Substituindo os valores, tem-se:

$$Z = \text{sen}(10) * 2254$$

$$Z = 391,4 \text{ mm}$$

Substituindo todos os valores na relação (11), é obtido:

$$d = 3,5 * 391,4 = 1369,9 \text{ mm}$$

De posse dessa informação, já é possível calcular a área real de ocupação de cada módulo, basta substituir os valores na relação (13)

$$\text{Área}_{\text{módulo/real}} = X * (D + d) \quad (13)$$

Onde:

D (mm)- Comprimento da área de instalação do painel.

X (mm)- Largura do módulo fotovoltaico.

d (mm) - Espaçamento entre os painéis.

Substituindo os valores, é encontrado:

$$\text{Área}_{\text{módulo/real}} = 1135 * (2219,76 + 1369,9)$$

$$\text{Área}_{\text{módulo/real}} = 4,07 \text{ m}^2$$

Para obtermos a área total de instalação, basta multiplicar a área de instalação de cada módulo pelo total de módulos, o cálculo pode ser visto abaixo.

$$\text{Área}_{\frac{\text{Instalação}}{\text{total}}} = 4,07 * 1400$$

$$\text{Área}_{\text{Instalação/total}} = 5698 \text{ m}^2$$

3.8 VIABILIDADE TÉCNICA DA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA

Após o dimensionamento do sistema, é necessário avaliar a viabilidade técnica do projeto. É estudado se o empreendimento possui todas as competências técnicas necessárias para a sua execução.

3.8.1 TERRENO

O terreno onde será instalado a usina é um dos primeiros pontos de atenção para qualquer projeto de usina solar fotovoltaica, sendo importante que o solo possua as condições ideais para a instalação dos painéis. Para a análise, é utilizado o *software* Google Earth da Google. Primeiramente, é necessário verificar se o terreno possui as dimensões necessárias para comportar os painéis e demais equipamentos. Conforme calculado anteriormente, a área total ocupada pelos painéis é de 5698 m². Como pode ser visto na Figura 38, foi escolhida uma área dentro do aterro com 9555,22 m², mais do que necessário para comportar a usina. Na Figura 39 pode ser visto o terreno sob uma maior perspectiva.

Figura 38 - Área do Terreno.



Fonte: Google Earth (2022).

Figura 39 - Área expandida do terreno.



Fonte: Google Earth (2022).

Para a instalação dos painéis, outra etapa fundamental para a instalação dos painéis, é o estudo de elevação do terreno. Com o auxílio do Google Earth foi analisado a área escolhida e realizado o levantamento do máximo de elevação entre dois pontos e o resultado se encontra na Figura 40. Como pode ser visto, a máxima elevação no terreno é de 2,96 m, não apresentando um grande desafio para o projeto de terraplenagem.

Figura 40 - Elevação do terreno.



Fonte: Google Earth (2022).

3.8.2 SOMBREAMENTO

O estudo de sombreamento é fundamental em qualquer projeto solar fotovoltaico, a sombras estão em uma das principais causas que acarretam perdas de geração nos módulos fotovoltaicos, por isso, um estudo detalhado do ambiente deve ser realizado para se observar se os entornos possuem obstáculos que podem acarretar perdas para a geração, além de se verificar o posicionamento dos módulos para que eles não projetem sombras entre si.

O estudo do sombreamento entre os painéis já foi realizado anteriormente e os módulos já serão posicionados para que não haja perda de geração entre eles. Em relação aos obstáculos no terreno, é possível observar na Figura 38 que existem algumas árvores no local de instalação dos painéis, mas como elas serão retiradas na etapa de preparo do terreno, elas não apresentam um problema de sombreamento para os painéis. Porém, deve se levar em consideração o posicionamento das células de lixo, em projetos de aterros sanitários, as células possuem uma altura máxima projetada, por isso, é importante verificar se as células do aterro não serão uma obstrução aos raios solares quando alcançarem essa altura.

3.8.3 AMBIENTE DO ATERRO SANITÁRIO

O Aterro sanitário é um ambiente que difere dos demais devido sua atividade, devendo ser levado em conta suas peculiaridades e observado como elas podem afetar o sistema solar fotovoltaico. Um dos fatores que mais tornam os aterros em lugares singulares é a produção de gases em suas atividades. Esses gases são gerados na decomposição de matéria orgânica no ambiente do aterro. O metano (CH_4) aparece como principal gás proveniente desse processo, porém há presença de outros gases como Dióxido de carbono (CO_2), nitrogênio (N_2), amônia (NH_3), entre outros. Porém um gás em específico deve ser observado com cuidado, o gás

sulfídrico (H_2S). O gás sulfídrico, ou Sulfeto de hidrogênio, é um gás tóxico, incolor e de forte odor que pode ser formado tanto em processos de origem humana, quanto em processos naturais no meio ambiente. Nos aterros sanitário, o H_2S é encontrado em grande quantidade perto das lagoas de depósito de chorume e pode acarretar diversos problemas a saúde humana se exposto de forma não controlada. No contexto do projeto da usina, o gás sulfídrico se apresenta como um problema devido à sua grande ação corrosiva em metais. Um ambiente com alta concentração de H_2S causaria grande dano a estrutura e aos próprios painéis solares. A solução para esse problema seria a construção da usina em uma localização distante de qualquer lagoa de armazenamento de chorume, onde a concentração do gás no ar não se torna problemática. Além disso, seria recomendado a instalação de um sensor de H_2S em pontos estratégicos da planta para observar se a concentração do gás, tendo em vista que mesmo distante, o gás pode ser transportado com o auxílio do vento.

Outra questão que deve ser levada em consideração que não é exclusiva de aterros sanitário, é a presença de poeira no ambiente dos painéis solares. Essa que é uma situação problemática pois a poeira pode se acumular na superfície dos painéis impedindo a passagem dos raios solares, acarretando uma perda de geração. Nos aterros sanitários a presença de poeira se mostra mais elevada por conta de o terreno ser majoritariamente de terra e possuir a alta circulação de caminhões que transportam resíduos. Para solucionar esse problema, uma constante rotina de limpeza dos painéis deve ser introduzida ao plano de manutenções preventivas da usina.

4 ANÁLISE ECONÔMICA DO PROJETO

4.1 INTRODUÇÃO

Esse capítulo é dedicado a análise financeira de todo o projeto da usina fotovoltaica. Atualmente, embora tenha-se reduzido consideravelmente o custo de implementação da tecnologia fotovoltaica, é importante que seja realizada uma análise de viabilidade de todos os projetos. Neste trabalho, é realizado o levantamento de todos os custos do empreendimento, tanto o CAPEX, quanto OPEX. Além disso, são utilizadas ferramentas financeiras para se realizar o estudo de viabilidade do projeto.

4.2 CAPITAL EXPENDITURE

O CAPEX é a preocupação inicial de qualquer grande empreendimento, ele que vem da palavra em inglês *Capital Expenditure*, que nada mais é do que o investimento de bens de capitais de uma empresa no projeto proposto nesse trabalho, o CAPEX é todo o investimento realizados na construção da usina, dá compra de equipamentos, até a contratação da mão de obra necessária. Vale ressaltar que diversos custos envolvendo o espaço onde será instalada a usina que normalmente que seriam incluídos no CAPEX, não foram levados em questão, como aluguel ou compra do terreno, por conta de a empresa administradora do aterro sanitário já possuir o espaço disponível. Os valores referentes aos equipamentos foram obtidos através de consultas a sites de varejo, sem ter sido realizada nenhuma cotação específica. A obra civil abrange as bases necessárias para os painéis, estruturas para os painéis elétrico e inversores e o projeto de terraplanagem. Foram inseridos custos extras referentes ao projeto, como logística, instalação na rede, comissionamento, entre outros. Já se tratando dos materiais e equipamentos, estão englobados o cabeamento, dispositivos de proteção, painéis elétricos, entre outros. Os levantamentos do CAPEX com todos os outros custos necessários se encontram na Tabela 5.

Tabela 5 - CAPEX do empreendimento.

| Custos | Quantidade | Valor Unitário | Valor Total |
|------------------------|------------|----------------|------------------|
| Painel Fotovoltaico | 1400 | R\$ 1.289,00 | R\$ 1.804.600,00 |
| Inversor | 5 | R\$ 34.135,95 | R\$ 170.679,75 |
| Suporte | 350 | R\$ 756,00 | R\$ 264.600,00 |
| Mão de Obra | 1 | R\$ 480.000,00 | R\$ 480.000,00 |
| Obra Civil | 1 | R\$ 550.000,00 | R\$ 550.000,00 |
| Custos de Instalação | 1 | R\$ 300.000,00 | R\$ 300.000,00 |
| Equipamentos/Materiais | 1 | R\$ 150.000,00 | R\$ 150.000,00 |
| | | Valor Total: | R\$ 3.719.879,75 |

Fonte: Próprio autor.

4.3 OPERATIONAL EXPENDITURE

O OPEX, é outro custo que sempre deve ser levado em consideração em qualquer projeto, ele que vem das palavras em inglês *Operational Expenditure*, que seriam as despesas operacionais do projeto. Ele é todo gasto que a operação demanda ao longo da sua vida útil, no projeto em questão. Nele são consideradas as manutenções preventivas referentes aos equipamentos que compõem a usina, troca de eventuais componentes e pessoal responsável pelo monitoramento e gestão da usina. O detalhamento do OPEX da usina se encontra na Tabela 6.

Tabela 6 - Custos OPEX.

| Custos Anuais | Valor Total |
|---------------------------|----------------|
| Mão de Obra para Operação | R\$ 384.000,00 |
| Custos de Manutenção | R\$ 20.000,00 |
| Valor Total: | R\$ 404.000,00 |

Fonte: Próprio autor.

4.4 FLUXO DE CAIXA

Neste item é apresentado o fluxo de caixa no decorrer de 25 anos, esse que equivale ao tempo de vida útil de grande parte dos painéis fotovoltaicos, nele consta o investimento inicial, economias e custos do empreendimento ao longo do tempo, um bom parâmetro para a avaliação do período de retorno de capital investido no projeto. Vale ressaltar que para o cálculo foi considerado um aumento da tarifa de energia anual de 16,3%, baseando-se na média de aumento de 2015 até 2021. Outro índice importante a ser considerado foi o índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), indicador que demonstra a variação dos preços de produtos e serviços que chegam ao consumidor, sendo o índice oficial para parametrizar a

inflação nacional. Para este índice, foi considerada o valor de 6,7% a.a., também sendo o valor médio de aumento no período de 2015 até 2021 (CNN Brasil, 2022). No desconto da fatura, foi aplicada a o desgaste natural dos painéis fotovoltaicos em sua eficiência, sendo de 3% no primeiro ano e 0.7% nos anos subsequentes (Portal Solar, 2022). O fluxo de caixa do projeto se encontra abaixo na Figura 41.

Figura 41 - Fluxo de caixa.

| Descrição | Ano 1 | Ano 2 | Ano 3 | Ano 4 | Ano 5 | Ano 6 |
|-----------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| CAPEX | -R\$ 3.719.879,75 | - | - | - | - | - |
| OPEX | -R\$ 404.000,00 | -R\$ 431.068,00 | -R\$ 459.949,56 | -R\$ 490.766,18 | -R\$ 523.647,51 | -R\$ 558.731,89 |
| Economia Fatura | R\$ 835.073,28 | R\$ 942.054,52 | R\$ 1.087.940,14 | R\$ 1.256.417,46 | R\$ 1.450.985,01 | R\$ 1.675.683,10 |
| Fluxo Anual | -R\$ 3.288.806,47 | R\$ 510.986,52 | R\$ 627.990,58 | R\$ 765.651,28 | R\$ 927.337,50 | R\$ 1.116.951,21 |
| Caixa | -R\$ 3.288.806,47 | -R\$ 2.777.819,95 | -R\$ 2.149.829,37 | -R\$ 1.384.178,09 | -R\$ 456.840,58 | R\$ 660.110,62 |
| | Ano 7 | Ano 8 | Ano 9 | Ano 10 | Ano 11 | Ano 12 |
| | - | - | - | - | - | - |
| | -R\$ 596.166,93 | -R\$ 636.110,11 | -R\$ 678.729,49 | -R\$ 724.204,37 | -R\$ 772.726,06 | -R\$ 824.498,71 |
| | R\$ 1.935.177,71 | R\$ 2.234.857,39 | R\$ 2.580.945,18 | R\$ 2.980.627,76 | R\$ 3.442.204,80 | R\$ 3.975.261,19 |
| | R\$ 1.339.010,78 | R\$ 1.598.747,28 | R\$ 1.902.215,68 | R\$ 2.256.423,40 | R\$ 2.669.478,74 | R\$ 3.150.762,48 |
| | R\$ 1.999.121,40 | R\$ 3.597.868,68 | R\$ 5.500.084,36 | R\$ 7.756.507,76 | R\$ 10.425.986,50 | R\$ 13.576.748,98 |
| | Ano 14 | Ano 15 | Ano 16 | Ano 17 | Ano 18 | Ano 19 |
| | - | - | - | - | - | - |
| | -R\$ 938.682,71 | -R\$ 1.001.574,45 | -R\$ 1.068.679,94 | -R\$ 1.140.281,49 | -R\$ 1.216.680,35 | -R\$ 1.298.197,94 |
| | R\$ 5.301.803,11 | R\$ 6.122.835,04 | R\$ 7.071.011,15 | R\$ 8.166.020,86 | R\$ 9.430.602,69 | R\$ 10.891.016,39 |
| | R\$ 4.363.120,40 | R\$ 5.121.260,59 | R\$ 6.002.331,21 | R\$ 7.025.739,37 | R\$ 8.213.922,33 | R\$ 9.592.818,45 |
| | R\$ 21.650.995,43 | R\$ 26.772.256,01 | R\$ 32.774.587,22 | R\$ 39.800.326,59 | R\$ 48.014.248,92 | R\$ 57.607.067,37 |
| | Ano 21 | Ano 22 | Ano 23 | Ano 24 | Ano 25 | |
| | -R\$ 1.477.984,07 | -R\$ 1.577.009,00 | -R\$ 1.682.668,61 | -R\$ 1.795.407,40 | -R\$ 1.915.699,70 | |
| | R\$ 14.525.341,04 | R\$ 16.774.720,83 | R\$ 19.372.437,32 | R\$ 22.372.433,59 | R\$ 25.837.006,28 | |
| | R\$ 13.047.356,97 | R\$ 15.197.711,82 | R\$ 17.689.768,71 | R\$ 20.577.026,19 | R\$ 23.921.306,58 | |
| | R\$ 81.846.835,43 | R\$ 97.044.547,26 | R\$ 114.734.315,97 | R\$ 135.311.342,16 | R\$ 159.232.648,74 | |

Fonte: Próprio autor.

4.5 VIABILIDADE FINANCEIRA

Neste item do trabalho é realizada a análise de viabilidade econômica do empreendimento. Para isso, são utilizadas ferramentas de matemática financeiras como, *Payback*, TMA, VPL e TIR. Cada uma é abordada de forma mais detalhada a seguir.

4.5.1 PAYBACK

O *Payback* é um indicador fundamental, pois ele dita em qual período o lucro proveniente do empreendimento supera o valor investido inicialmente, esse que costuma ser o

primeiro índice que o investidor tende a observar antes de decidir se irá dar continuidade ao investimento ou não. Como é possível observar na Figura 41, o investimento se pagará a partir do sexto ano, esse que é um resultado bastante positivo, tornando bastante atrativo o desenvolvimento do projeto.

4.5.2 TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE

A taxa mínima de atratividade (TMA), é a taxa que indica a porcentagem mínima de retorno em que um investidor pretende ter em seu negócio, e é fundamental para a tomada decisão quando se deseja avaliar se qualquer aplicação financeira será interessante. A TMA não possui uma fórmula para seu cálculo, porém tem seu valor baseado em outros indicadores do mercado, como a taxa Selic, como a Taxa Básica Financeira (TBF), Taxa de Juros de Longo Prazo (TJLP). Nesse Trabalho, é considerado o valor de 13,25%, se baseando na taxa Selic (Capital Research, 2019).

4.5.3 VALOR PRESENTE LÍQUIDO

Outra importante ferramenta financeira é o Valor presente líquido (VPL), esse que também visa indicar a viabilidade de qualquer grande investimento, porém, sua principal característica é trazer os valores do fluxo de caixa futuros para um valor equivalente a data presente do investimento, se baseando na TMA (Blank e Tarquin, 2011). O cálculo para o Valor presente líquido é dado pela relação (13).

$$VPL = \sum_{n=1}^{n=N} \frac{F_{Ct}}{(1+i)^n} \quad (13)$$

Onde:

VPL (Reais) - Valor presente líquido

n (Anos)- Período do tempo

F_{Ct} (Reais) - Fluxo de caixa

i - Taxa mínima de investimento

t – Período do fluxo de Caixa atual

Com os valores apresentados na Figura 41, com uso do software Excel foi encontrado um VPL de R\$ 18.235.669,01. Diante do valor calculado, é possível concluir que o empreendimento é viável, ou seja, seu lucro sobrepõe as despesas, tendo em vista que seu valor apresentado foi positivo.

4.5.4 TAXA INTERNA DE RETORNO

A taxa interna de retorno (TIR) é outra alternativa quando se deseja analisar a viabilidade financeira de um projeto que necessita de investimentos. Ela que também se baseia nos valores de fluxo de caixa ao longo do empreendimento, analisando quando o valor do fluxo de caixa terá seu balanço zerado (Blank e Tarquin, 2011). O valor da TIR pode ser comparado a TMA, tendo seu investimento interessante, caso seu valor apresentado seja maior. O cálculo da TIR pode ser visto na relação (14).

$$0 = \sum_{n=1}^{n=N} \frac{F_{Ct}}{(1+TIR)^n} \quad (14)$$

Onde:

TIR (%) – Taxa Interna de Retorno

n (Anos)- Período do tempo

F_{Ct} (Reais) - Fluxo de caixa

t - Período do fluxo de Caixa atual

Ainda se baseando nos valores de fluxo de caixa apresentados na Figura 41, foi possível realizar o cálculo da TIR e com uso do *software* Excel foi encontrado um valor de 29,60%, esse que é um resultado bastante positivo, tendo em vista que o valor apresentado foi maior do que a TMA estabelecida de 13,25%.

5 CONCLUSÕES

Como visto no trabalho, a tratativa envolvida no tratamento de resíduos ainda é muito complexa e está longe de ser considerada a ideal. A gestão consciente de chorume deve ser um constante foco na luta para um desenvolvimento mais sustentável da população, e ao mesmo tempo, as energias renováveis são a saída para esse panorama ambiental desejado. A instalação de plantas de tratamento de chorume em aterros sanitários se mostra uma alternativa viável para solução do problema. No entanto, essas plantas possuem alta demanda de energia elétrica, que muitas vezes são produzidas de fontes não renováveis. Dessa forma, a alimentação dessas plantas com fontes de energias renováveis se apresentaria como uma saída satisfatória para esse panorama ambiental.

Esse trabalho teve como objetivo estudar a viabilidade de uma usina de minigeração solar fotovoltaica em um aterro sanitário para o abastecimento de sistemas de tratamento de chorume com tecnologia de osmose reversa. O sistema *on grid* foi escolhido para a usina e foram realizados estudos sobre o panorama solar da região e do consumo das máquinas da planta, para que o dimensionamento fosse o mais fiel possível. Com todos os dimensionamentos de equipamentos realizados, foi avaliada a viabilidade técnica do projeto, observando quais eram os pontos de atenção e quais ações deveriam ser tomadas a fim de se evitar futuros contratemplos. Como foi observado no trabalho, o projeto possui algumas questões que merecem atenção, como a terraplanagem do terreno e constate realização de manutenções preventivas, porém, nada que torne o empreendimento inviável.

Em seguida, foi analisada a viabilidade do projeto. Para isso foram utilizadas ferramentas de matemática financeira amplamente utilizadas quando se é desejada a tomada de decisões de investimentos. Como pode ser visto, os resultados foram positivos, com o *payback*, pôde ser constatado que o investimento tem o seu retorno durante o seu sexto ano de implementação, valor expressivo, tendo em vista a dimensão do investimento. O valor presente líquido foi outra ferramenta utilizada e após seu cálculo, pode ser obtido um valor de R\$ 18.235.669,01, que como já foi dito, é um valor que indica o projeto como um bom investimento. Com a TIR, também foi analisado o potencial de retorno do aporte financeiro, o valor de 29,6% demonstra um resultado favorável a implementação da usina. Portanto, tendo em vista todos os indicadores analisados, o projeto do sistema solar fotovoltaico não é somente viável do ponto de vista financeiro, como bastante atrativo.

Dessa forma o resultado do estudo apresentado neste trabalho mostrou que a viabilidade técnica e econômica da implementação da usina solar fotovoltaica alimentando uma planta de

tratamento de chorume não é somente possível, mas também uma boa alternativa para o panorama ambiental em que o Brasil se encontra.

Para trabalhos futuros, pode ser realizado o estudo de forma mais minuciosa, como a aplicação de um software de dimensionamento e modelagem de sistemas solares fotovoltaicos a fim de simular a utilização de novos componentes, como módulos fotovoltaicos bifaciais e rastreadores solares para verificação da possibilidade de ganho de performance do sistema. Além disso, um dimensionamento e levantamento de custos mais detalhados dos conectores e cabos envolvidos no projeto, a fim de se ter um valor de CAPEX mais fiel. Estudar o impacto das altas correntes de partida do sistema de moto bombas na geração. Por fim, analisar a possibilidade de implementação da usina no topo de uma célula de lixo que já alcançou sua altura projetada máxima, com o objetivo de se otimizar ao máximo o espaço disponível no aterro sanitário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PELLEGRINI, Lucas Valmir. *Projeto de usina fotovoltaica de 5 MWp em São Luiz do Purunã*. Curitiba, 2019. 84 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Energias Renováveis) – Especialização em Energias Renováveis – Departamento Acadêmico De Eletrotécnica Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

BOFF, Nicole Amanda. *Projeto de energia solar fotovoltaica para uma indústria do ramo metalmeccânico*. Caxias do Sul, 2018. 91 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Curso de Engenharia Ambiental– Área do conhecimento de ciências exatas e engenharias, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2018.

ARAÚJO, Gabriele Mônego. *Remoção Biológica de gás sulfídrico concentrado para tratamento do biogás*. Santa Maria, 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Maria, 2013.

VILLALVA, Marcelo Gradella. *Energia solar fotovoltaica: Conceitos e aplicações*. São Paulo: Érica, 2012. 224 p.

BLANK, Leland, TARQUIN, Anthony. *Engineering Economy*. Nova Iorque: McGraw-Hill Education, 2011. 620 p.

PINHO, João Tavares, GALDINO, Marco Antonio. *Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos*. Rio de Janeiro: CEPEL, 2014. 530 p.

LAMBERTS, Roberto, GHISI, Edénir, PEREIRA, Cláudia Donald, BATISTA, Juliana Oliveira. *Casa Eficiente: Consumo e Geração de Energia*. Rio de Janeiro: UFSC, 2010. 80 p.

Aumento da produção de lixo no Brasil requer ação coordenada entre governos e cooperativas de catadores. Agência Senado. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/noticias/infomaterias/2021>>. Acesso em: 10 de maio de 2022

Taxa mínima de atratividade: o que é e como calcular nos investimentos. Disponível em: <<https://capitalresearch.com.br/blog/taxa-minima-de-atratividade-o-que-e-e-como-calcularnos-investimentos/>>. Acesso em: 20 de junho de 2022

Projeto de tratamento de resíduos de Cachoeira de Itaperimim Volume II/II, IEMA. Disponível em:

<<https://iema.es.gov.br/Media/iema/CQAI/EIA/2007/Central%20res%C3%ADduos%20Cachoeiro/EA-09-07-0-0%20Volume%20II.pdf>>. Acesso em: 10 de maio de 2022.

Chorume: o que é e quais seus tipos? eCycle. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/chorume/>>. Acesso em: 12 de maio de 2022.

SILVA, C.S.S.; et.al. Análise histórica da geração, coleta e destinação dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. R. Tecnol. Soc., Curitiba, v.16, n.41, p. 125-138, Ed. Especial. 2020. Disponível em:<<https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/11815.>> Acesso em: 10 de maio de 2022.

SERAFIN, Aline Camil, GUSSAKOV, Karim Cazeris, SILVA, Fabiano, CONEGLIAN, Cassiana M.R.,BRITO, Natália, SOBRINHO, Geraldo Dragoni, TONSO, Sandro, PELEGRINI, Ronaldo. Chorume, impactos ambientais e possibilidades de tratamentos. In: Fórum de Estudos Contábeis 2003. 2003.

ALVES, Denise de Carvalho, TEIXEIRA, Renata Miranda. Estudo comparativo das técnicas de tratamento do chorume utilizadas em alguns aterros sanitários. Santa Catarina: ICTR, 2004. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/ictr/2004/ARQUIVOS%20PDF/12/12-019.pdf>>. Acesso em: 15 de maio de 2022.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Balanço Energético Nacional. 2022. Brasília: EPE, 2022. Disponível em:< https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_S%C3%ADntese_2022_PT.pdf>. Acesso em: 10 de maio de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro. 1992.

O que diz a legislação sobre o tratamento de chorume de aterros sanitários. Tera ambiental. Disponível em: < <https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/o-que-diz-a-legislacao-tratamento-de-chorume-de-aterros-sanitarios>>. Acesso em: 12 de maio de 2022.

Brasil atingirá quase 25 GW de capacidade instalada solar ao final de 2022. Canal Solar. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/brasil-atingira-quase-25-gw-de-capacidade-instalada-solar-ao-final-de-2022>>. Acesso em: 10 de maio de 2022.

Legislação. Associação Brasileira de empresas de Tratamento de Resíduos e Efluentes. Disponível em: < <https://abetre.org.br/legislacao/>>. Acesso em: 15 de maio de 2022.

Diferença entre lixão e aterro sanitário. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/mmanoforum/item/15708>>. Acesso em: 11 de maio de 2022.

Filmes finos CIGS: uma alternativa ao silício cristalino. Canal Solar. Disponível em: < <https://canalsolar.com.br/filmes-finos-cigs-uma-alternativa-ao-silicio-cristalino/>>. Acesso em: 26 de maio de 2022.

Quanto Custa um Bom Projeto? Greener. Disponível em: <<https://www.greener.com.br/conteudo-integrador/quanto-custa-um-bom-projeto/>>. Acesso em: 23 de junho de 2022.

Aterro sanitário. Transporte Locações. Disponível em: <<http://transponteslocacoes.com.br/blog/aterro-sanitario/>> Acesso em: 14 de maio de 2022.

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA OFF GRID. Eco aquecedores. Disponível em: <<https://www.ecoaquecedores.com.br/energia-solar-fotovoltaica-off-grid/>> Acesso em: 21 de junho de 2022.

PHOTOVOLTAICS REPORT. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems. Disponível em: <<https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>> Acesso em: 05 de julho de 2022.

SERVIÇOS DE INSTALAÇÃO DOS SISTEMAS. BMC Energia. Disponível em: [<https://bmcenergia.com.br/>](https://bmcenergia.com.br/) Acesso em: 10 de junho de 2022.

Onda senoidal ou modificada? Entenda a diferença. TRX Solar. Disponível em: [<https://loja.trxsolar.com/loja/noticia.php?loja=655927&id=23>](https://loja.trxsolar.com/loja/noticia.php?loja=655927&id=23) Acesso em: 10 de junho de 2022.

SAIBA COMO FUNCIONA O INVERSOR SOLAR. Engegrid. Disponível em: [<https://engegrid.com.br/blog/saiba-como-funciona-o-inversor-solar/>](https://engegrid.com.br/blog/saiba-como-funciona-o-inversor-solar/) Acesso em: 10 de junho de 2022.

Tipos de módulos fotovoltaicos. América do Sol. Disponível em: [<https://americadosol.org/tipos-de-modulos-fotovoltaicos/#toggle-id-2>](https://americadosol.org/tipos-de-modulos-fotovoltaicos/#toggle-id-2) Acesso em: 8 de junho de 2022.

Energia Solar Fotovoltaica no Brasil. ABSOLAR. Disponível em: [<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>](https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/) Acesso em: 14 de maio de 2022.

Reverse osmosis pretreatment. Pentair. Disponível em: [<https://xflow.pentair.com/en/spectrum/reverse-osmosis>](https://xflow.pentair.com/en/spectrum/reverse-osmosis) Acesso em: 20 de maio de 2022.

Chorume de aterro não é esgoto – precisa de tratamento adequado. Ambiente Legal. Disponível em: [<https://www.ambientelegal.com.br/chorume-de-aterro-nao-e-esgoto-precisa-de-tratamento-adequado/>](https://www.ambientelegal.com.br/chorume-de-aterro-nao-e-esgoto-precisa-de-tratamento-adequado/) Acesso em: 11 de maio de 2022.

PONTES DE MOURA, J.; MONTEIRO, G.; SILVA, J.; PINTO, F.; FRANÇA, K. Aplicações do processo de osmose reversa para o aproveitamento de água salobra do semi-árido nordestino. Águas Subterrâneas, [S.l.], 2008. Disponível em: [<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23343>](https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23343). Acesso em: 20 de maio. 2022.

ANDRADE, Adnei Melges de. Estudo A Tecnologia Do Silício, Silício Grau Eletrônico, Processos Czochralski E Fusão Zonal Flutuante. São Paulo: USP.2017, Disponível em: [<https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5418377/mod_resource/content/3/A%20tecnologia%](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5418377/mod_resource/content/3/A%20tecnologia%20de%20silicio%20e%20silicio%20de%20alta%20pura.pdf)

[2do%20sil%C3%ADcio%20Adnei%20M%20de%20Andrade%20v2.pdf](#)>. Acesso em: 10 de junho de 2022.

Quais os tipos de inversor solar e qual utilizar? Yellot. Disponível em: <https://yellot.com.br/energia-solar-fotovoltaica/quais-os-tipos-de-inversor-solar-e-qual-utilizar/>> Acesso em: 15 de junho de 2022.

Os tipos de inversor solar: tudo o que você precisa saber sobre o equipamento que é o coração do sistema fotovoltaico – Parte 2. Elysia. Disponível em: <https://elysia.com.br/tipos-de-inversor-solar/>> Acesso em: 10 de junho de 2022.

Energia elétrica aumentou mais do que o dobro da inflação nos últimos anos. CNN Brasil. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/energia-eletrica-aumentou-mais-do-que-o-dobro-da-inflacao-nos-ultimos-anos>> Acesso em: 26 de junho de 2022.

Quanto tempo duram os painéis solares? Portal Solar. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/quanto-tempo-duram-os-paineis-solares>> Acesso em: 26 de junho de 2022.

Célula fotovoltaica: tudo o que você precisa saber. Portal Solar. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica.html>> Acesso em: 05 de julho de 2022.

BRASIL. Lei nº 1.516, de 14 de março de 2019. Dispõe sobre o tratamento do lixiviado em aterro sanitário. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2194103>. Acesso em 05 de maio de 2022.

ANEXO A – Relatório SOLAR

GLOBAL SOLAR ATLAS BY WORLD BANK GROUP

Caucaia

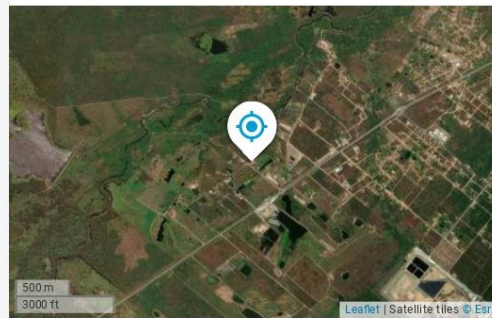
-03.782726°, -038.698654°
unnamed road, Caucaia, Ceará, Brazil
Time zone: UTC-03, America/Fortaleza [BRT]

Report generated: 7 Jun 2022

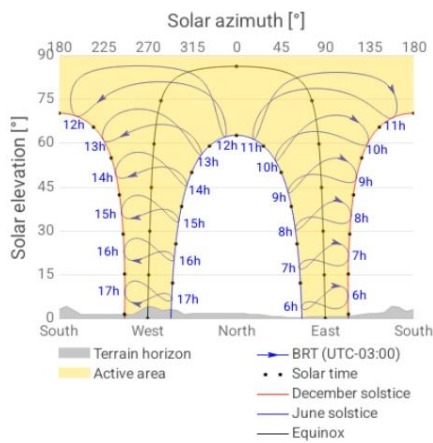
SITE INFO

| Map data | | Per year |
|--|---------------------|---------------------------|
| Specific photovoltaic power output | PVOUT specific | 1635.8 kWh/kWp |
| Direct normal irradiation | DNI | 1733.1 kWh/m ² |
| Global horizontal irradiation | GHI | 2069.2 kWh/m ² |
| Diffuse horizontal irradiation | DIF | 839.9 kWh/m ² |
| Global tilted irradiation at optimum angle | GTI _{opta} | 2079.7 kWh/m ² |
| Optimum tilt of PV modules | OPTA | 6 / 0 ° |
| Air temperature | TEMP | 27.3 °C |
| Terrain elevation | ELE | 18 m |

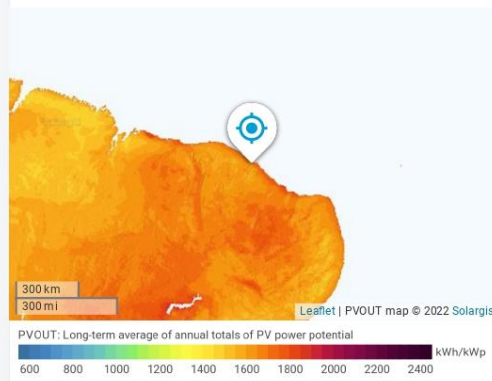
Map



Horizon and sunpath



PVOUT map



GLOBAL SOLAR ATLAS

BY WORLD BANK GROUP

PV ELECTRICITY AND SOLAR RADIATION

Annual averages

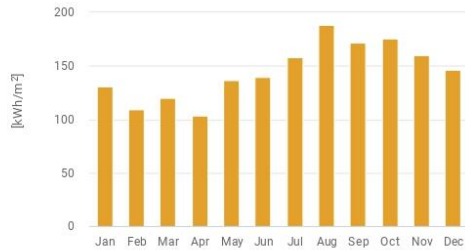
Direct normal irradiation

1740.0

kWh/m² per year

Monthly averages

Direct normal irradiation



Average hourly profiles

Direct normal irradiation [Wh/m²]



UTC-03

Average hourly profiles

Direct normal irradiation [Wh/m²]

| | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 - 1 | | | | | | | | | | | | |
| 1 - 2 | | | | | | | | | | | | |
| 2 - 3 | | | | | | | | | | | | |
| 3 - 4 | | | | | | | | | | | | |
| 4 - 5 | | | | | | | | | | | | |
| 5 - 6 | 8 | 4 | 6 | 8 | 11 | 9 | 8 | 10 | 20 | 51 | 58 | 90 |
| 6 - 7 | 146 | 123 | 138 | 157 | 210 | 211 | 202 | 239 | 199 | 235 | 230 | 180 |
| 7 - 8 | 257 | 273 | 291 | 281 | 350 | 376 | 382 | 442 | 373 | 358 | 318 | 259 |
| 8 - 9 | 329 | 362 | 384 | 339 | 419 | 458 | 480 | 545 | 487 | 453 | 406 | 348 |
| 9 - 10 | 380 | 414 | 430 | 356 | 470 | 508 | 541 | 602 | 549 | 510 | 445 | 405 |
| 10 - 11 | 414 | 394 | 393 | 367 | 486 | 509 | 550 | 626 | 578 | 540 | 520 | 482 |
| 11 - 12 | 456 | 397 | 377 | 352 | 474 | 489 | 538 | 626 | 604 | 610 | 575 | 530 |
| 12 - 13 | 479 | 422 | 385 | 346 | 452 | 464 | 522 | 625 | 657 | 675 | 634 | 554 |
| 13 - 14 | 491 | 431 | 404 | 340 | 447 | 450 | 524 | 649 | 683 | 691 | 646 | 568 |
| 14 - 15 | 460 | 403 | 385 | 338 | 431 | 445 | 513 | 644 | 648 | 646 | 609 | 534 |
| 15 - 16 | 394 | 339 | 337 | 302 | 377 | 408 | 464 | 566 | 539 | 543 | 522 | 456 |
| 16 - 17 | 298 | 260 | 260 | 229 | 265 | 293 | 343 | 402 | 346 | 343 | 346 | 319 |
| 17 - 18 | 93 | 93 | 73 | 31 | 22 | 31 | 47 | 86 | 33 | 19 | 25 | 66 |
| 18 - 19 | | | | | | | | | | | | |
| 19 - 20 | | | | | | | | | | | | |
| 20 - 21 | | | | | | | | | | | | |
| 21 - 22 | | | | | | | | | | | | |
| 22 - 23 | | | | | | | | | | | | |
| 23 - 24 | | | | | | | | | | | | |
| Sum | 4206 | 3914 | 3863 | 3447 | 4413 | 4652 | 5113 | 6062 | 5716 | 5674 | 5334 | 4731 |

GLOBAL SOLAR ATLAS

BY WORLD BANK GROUP

GLOSSARY

| Acronym | Full name | Unit | Type of use |
|---------------------------|--|--|--|
| DIF | Diffuse horizontal irradiation | kWh/m ² , MJ/m ² | Average yearly, monthly or daily sum of diffuse horizontal irradiation (© 2021 Solargis) |
| DNI | Direct normal irradiation | kWh/m ² , MJ/m ² | Average yearly, monthly or daily sum of direct normal irradiation (© 2021 Solargis) |
| ELE | Terrain elevation | m, ft | Elevation of terrain surface above/below sea level, processed and integrated from SRTM-3 data and related data products (SRTM v4.1 © 2004 - 2021, CGIAR-CSI) |
| GHI | Global horizontal irradiation | kWh/m ² , MJ/m ² | Average annual, monthly or daily sum of global horizontal irradiation (© 2021 Solargis) |
| GTI | Global tilted irradiation | kWh/m ² , MJ/m ² | Average annual, monthly or daily sum of global tilted irradiation (© 2021 Solargis) |
| GT _{opta} | Global tilted irradiation at optimum angle | kWh/m ² , MJ/m ² | Average annual, monthly or daily sum of global tilted irradiation for PV modules fix-mounted at optimum angle (© 2021 Solargis) |
| OPTA | Optimum tilt of PV modules | ° | Optimum tilt of fix-mounted PV modules facing towards Equator set for maximizing GTI input (© 2021 Solargis) |
| PVOUT _{total} | Total photovoltaic power output | kWh, MWh, GWh | Yearly and monthly average values of photovoltaic electricity (AC) delivered by the total installed capacity of a PV system (© 2021 Solargis) |
| PVOUT _{specific} | Specific photovoltaic power output | kWh/kWp | Yearly and monthly average values of photovoltaic electricity (AC) delivered by a PV system and normalized to 1 kWp of installed capacity (© 2021 Solargis) |
| TEMP | Air temperature | °C, °F | Average yearly, monthly and daily air temperature at 2 m above ground. Calculated from outputs of ERA5 model (© 2021 ECMWF, post-processed by Solargis) |

ABOUT

This pdf report (the "Work") is automatically generated from the Global Solar Atlas online app (<https://globalsolaratlas.info/>), prepared by Solargis under contract to The World Bank, based on a solar resource database that Solargis owns and maintains. It provides the estimated solar resource, air temperature data and potential solar power output for the selected location and input parameters of a photovoltaic (PV) power system.

Copyright © 2021 The World Bank
1818 H Street NW, Washington DC 20433, USA

The World Bank, comprising the International Bank for Reconstruction and Development (IBRD) and the International Development Association (IDA), is the commissioning agent and copyright holder for this Work, acting on behalf of The World Bank Group. The Work is licensed by The World Bank under a Creative Commons Attribution license (CC BY 4.0 IGO) with a mandatory and binding addition (please refer to the GSA website for full terms and conditions of use <https://globalsolaratlas.info/support/terms-of-use>).

The World Bank Group disclaims all warranties of any kind related to the provision of the Work.

The Work is made available solely for general information purposes. Neither the World Bank, Solargis nor any of its partners and affiliates hold the responsibility for the accuracy and/or completeness of the data and shall not be liable for any errors, or omissions. It is strongly advised that the Work be limited to use in informing policy discussions on the subject, and/or in creating services that better educate relevant persons on the viability of solar development in areas of interest. As such, neither the World Bank nor any of its partners on the Global Solar Atlas project will be liable for any damages relating to the use of the Work for financial commitments or any similar use cases. Solargis has done its utmost to make an assessment of solar climate conditions based on the best available data, software, and knowledge.

Sources: Solar database and PV software © 2021 Solargis

ANEXO B – Datasheet Módulo Solar CS6W-540



HiKu6 Mono



525 W ~ 545 W

CS6W-525 | 530 | 535 | 540 | 545MS

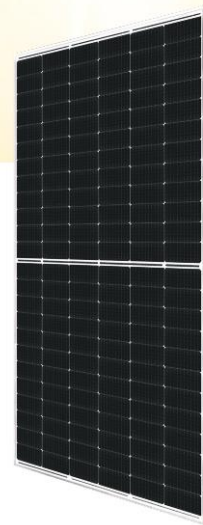
MORE POWER

-  Module power up to 545 W
Module efficiency up to 21.3%
-  Lower LCOE & BOS cost,
cost effective product for utility power plant
-  Comprehensive LID / LeTID mitigation
technology, up to 50% lower degradation
-  Compatible with mainstream trackers
-  Better shading tolerance

MORE RELIABLE

-  Minimizes micro-crack impacts
-  Heavy snow load up to 5400 Pa,
wind load up to 2400 Pa*

 **CanadianSolar**



12
Years
Enhanced Product Warranty on Materials
and Workmanship*

25
Years
Linear Power Performance Warranty*

1st year power degradation no more than 2%
Subsequent annual power degradation no more than 0.55%

*According to the applicable Canadian Solar Limited Warranty Statement.

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2015 / Quality management system
ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

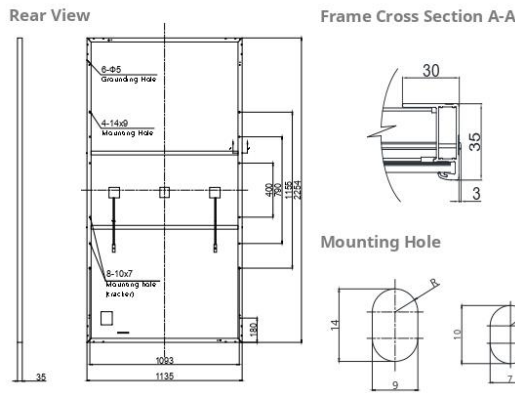
CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in IHS Module Customer Insight Survey. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 40 GW deployed around the world since 2001.

* For detailed information, please refer to the Installation Manual.

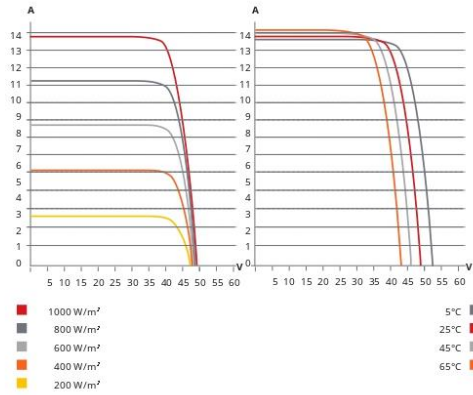
CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS6W-530MS / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

| CS6W | 525MS | 530MS | 535MS | 540MS | 545MS |
|------------------------------|--|---------|---------|---------|---------|
| Nominal Max. Power (Pmax) | 525 W | 530 W | 535 W | 540 W | 545 W |
| Opt. Operating Voltage (Vmp) | 40.4 V | 40.6 V | 40.8 V | 41.0 V | 41.2 V |
| Opt. Operating Current (Imp) | 13.00 A | 13.06 A | 13.12 A | 13.18 A | 13.23 A |
| Open Circuit Voltage (Voc) | 48.6 V | 48.8 V | 49.0 V | 49.2 V | 49.4 V |
| Short Circuit Current (Isc) | 13.75 A | 13.8 A | 13.85 A | 13.9 A | 13.95 A |
| Module Efficiency | 20.5% | 20.7% | 20.9% | 21.1% | 21.3% |
| Operating Temperature | -40°C ~ +85°C | | | | |
| Max. System Voltage | 1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL) | | | | |
| Module Fire Performance | TYPE 1 (UL 61730) or CLASS C (IEC 61730) | | | | |
| Max. Series Fuse Rating | 25 A | | | | |
| Application Classification | Class A | | | | |
| Power Tolerance | 0 ~ + 10 W | | | | |

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA | NMOT*

| CS6W | 525MS | 530MS | 535MS | 540MS | 545MS |
|------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Nominal Max. Power (Pmax) | 392 W | 395 W | 399 W | 403 W | 406 W |
| Opt. Operating Voltage (Vmp) | 37.7 V | 37.9 V | 38.0 V | 38.2 V | 38.4 V |
| Opt. Operating Current (Imp) | 10.40 A | 10.43 A | 10.51 A | 10.55 A | 10.58 A |
| Open Circuit Voltage (Voc) | 45.8 V | 45.9 V | 46.1 V | 46.3 V | 46.5 V |
| Short Circuit Current (Isc) | 11.09 A | 11.13 A | 11.17 A | 11.21 A | 11.25 A |

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m² spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

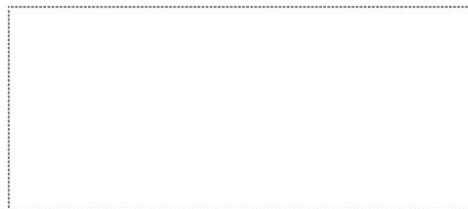
| Specification | Data |
|------------------------------------|---|
| Cell Type | Mono-crystalline |
| Cell Arrangement | 144 [2 x (12 x 6)] |
| Dimensions | 2254 x 1135 x 35 mm (88.7 x 44.7 x 1.38 in) |
| Weight | 29.0 kg (63.9 lbs) |
| Front Cover | 3.2 mm tempered glass |
| Frame | Anodized aluminium alloy, 2 crossbars enhanced |
| J-Box | IP68, 3 bypass diodes |
| Cable | 4 mm² (IEC), 12 AWG (UL) |
| Cable Length (Including Connector) | 400 mm (15.7 in) (+) / 280 mm (11.0 in) (-) or customized length* |
| Connector | T4 series or H4 UTX or MC4-EVO2 |
| Per Pallet | 30 pieces |
| Per Container (40' HQ) | 600 pieces |

* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

| Specification | Data |
|--------------------------------------|--------------|
| Temperature Coefficient (Pmax) | -0.35 % / °C |
| Temperature Coefficient (Voc) | -0.27 % / °C |
| Temperature Coefficient (Isc) | 0.05 % / °C |
| Nominal Module Operating Temperature | 42 ± 3°C |

PARTNER SECTION

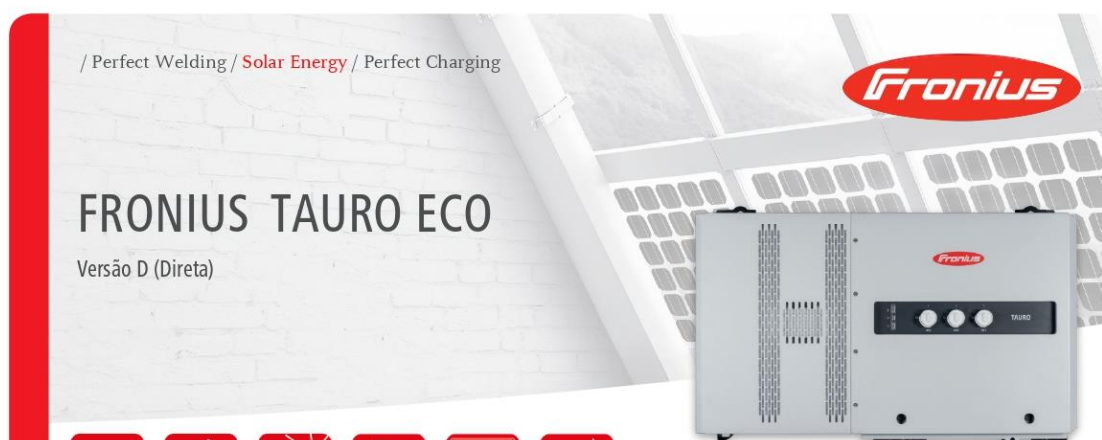


* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. Canadian Solar Inc. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice. Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

ANEXO C – Datasheet Inversor FRONIUS TAURO ECO



Flexibilidade no projeto



Máx. performance até 50° C



Instalação sob luz solar direta



Otimização de custos



Isolação de parede dupla

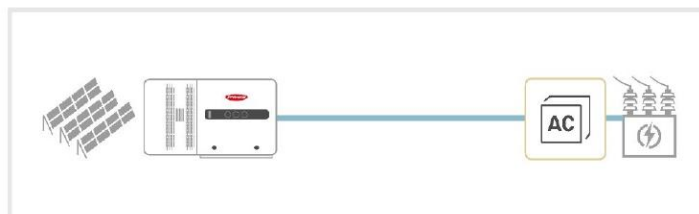


Manutenção facilitada

Os inversores Fronius Tauro, nas classes de potência de 50 e 100kW, garantem máxima performance para sistemas descentralizados mesmo sob as condições ambientes mais adversas.

Com o seu hardware inteligente, este inversor oferece não só a otimização de custos de BOS do seu projeto, mas também proporciona uma flexibilidade sem precedentes.

A fácil instalação e o serviço mais rápido do mercado, garantem a máxima geração de energia.



DADOS TÉCNICOS FRONIUSTAURO ECO – VERSÃO D

| DADOS DE ENTRADA | FRONIUS TAURO ECO 50-3-D | FRONIUS TAURO ECO 100-3-D |
|---|--------------------------|---------------------------|
| Número de rastreadores MPP | | 1 |
| Corrente máx. de entrada (I _{cc máx}) | 87,5 A | 175 A |
| Corrente máx. de curto-circuito (I _{sc máx}) | 178 | 355 |
| Tensão máxima de entrada CC (U _{cc máx}) | | 1000 V |
| Tensão inicial de alimentação (U _{cc start}) | | 650 V |
| Faixa de tensão MPP | | 580-930 V |
| Número de conexões CC | 14 ¹ | 22 ² |
| Corrente nominal das chaves seccionadoras (PV1, PV2 e PV3) | 75 / 75 A | 75 / 75 / 75 A |
| Corrente máx. de curto-circuito das chaves seccionadoras (PV1, PV2 e PV3) | 125 / 125 A | 125 / 125 / 125 A |
| Potência máx. dos módulos (P _{cc máx}) | 75kWp | 150kWp |

- 1) As 14 conexões CC são divididas em duas (2) chaves seccionadoras (PV1 e PV2): PV1= 7 entradas (+) e (-) e PV2= 7 entradas (+) e (-).
2) As 22 conexões CC são divididas em três (3) chaves seccionadoras (PV1, PV2 e PV3): PV1= 7 entradas (+) e (-), PV2= 7 entradas (+) e (-) e PV3= 8 entradas (+) e (-).

| DADOS DE SAÍDA | FRONIUS TAURO ECO 50-3-D | FRONIUS TAURO ECO 100-3-D |
|---|--------------------------|---------------------------|
| Potência nominal de saída CA (P _{ca,r}) | 50.000 W | 100.000 W |
| Corrente nominal de saída CA (I _{ca,r}) | 76 A | 152 A |
| Conexão com a rede (faixa de tensão) | | 3-NPE 380/220 V |
| Frequência nominal (faixa de frequência) | | 60 Hz (45 - 65 Hz) |
| Fator de potência (cos φ _{ac,r}) | | 0 - 1 ind. / cap. |

| DADOS GERAIS | FRONIUS TAURO ECO 50-3-D | FRONIUS TAURO ECO 100-3-D |
|---|--|---------------------------|
| Dimensões (altura x largura x profundidade) | 755 mm x 1109 mm x 346 mm (sem fixador de parede) | |
| Peso | 74 kg | 103 kg |
| Grau de Proteção | IP65 | |
| Classe de Proteção | 1 | |
| Refrigeração | Ventilação ativa e isolamento de parede dupla | |
| Instalação | Instalação em ambientes internos e externos ¹ | |
| Faixa de temperatura ambiente | -40 a +65 °C | |
| Consumo noturno | < 16 W | |
| Certificados e conformidade com padrões | AS/NZS 4777.2:2020, IEC62109-1/-2, VDE-AR-N 4105:2018, IEC62116, EN50549-1:2019 & EN50549-2:2019, VDE-AR-N 4110:2018, CEI 0-16:2019, CEI 0-21:2019 | |

1) A instalação sob luz solar direta é permitida.

| EFICIÊNCIA | FRONIUS TAURO ECO 50-3-D | FRONIUS TAURO ECO 100-3-D |
|--|--------------------------|---------------------------|
| Eficiência máx. | 98,6 % | 98,5 % |
| Eficiência europeia (η _{EU}) | 98,1% | 98,2% |
| Eficiência MPPT | > 99,9 % | |

| CONEXÃO CA | FRONIUS TAURO ECO 50-3-D | FRONIUS TAURO ECO 100-3-D |
|-----------------------|------------------------------|---------------------------|
| Seção transversal | 35 a 240 mm ² | 70 a 240 mm ² |
| Material condutor | Alumínio ou Cobre (Al ou Cu) | |
| Conexão dos terminais | Terminal olhal ou V Clamps | |
| Cabos unipolares | Prensa-cabos: 5 x M40 | |

| CONEXÃO CC | FRONIUS TAURO ECO 50-3-D | FRONIUS TAURO ECO 100-3-D |
|-----------------------|--|---------------------------|
| Seção transversal | 4 a 6 mm ² | |
| Material condutor | Cobre (Cu) | |
| Conexão dos terminais | Conexão direta via MC4 (Stäubli Multi Contact MC4) | |



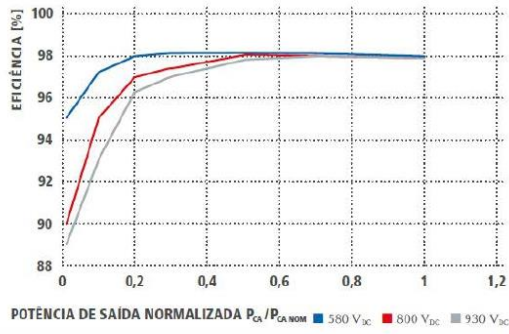
Área de Conexão CC do inversor Tauro versão D – Entradas diretas de cabos via MC4. Na imagem, Fronius Tauro ECO 50kW.

| DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO | FRONIUS TAURO ECO 50-3-D | FRONIUS TAURO ECO 100-3-D |
|---|---|---------------------------|
| Chave seccionadora CC | Integrado | |
| Comportamento em sobrecarga | Alteração do ponto de operação, limitação de potência | |
| Proteção de polaridade inversa | Integrado | |
| RCMU (Monitoramento de corrente residual) | Integrado | |
| Medição de isolamento CC | Integrado | |
| Proteção contra surtos (Lados CC e CA) | Tipo 1+2 para lado CC e CA | |
| Fusível CC para proteção da string | Integrado, 20 A | |

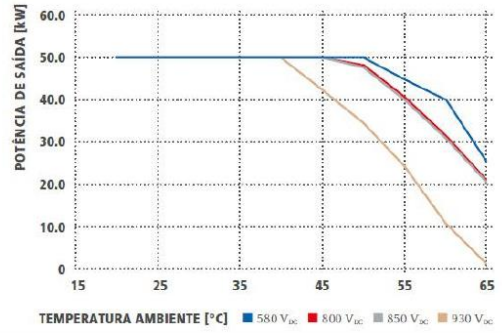
| INTERFACES | FRONIUS TAURO ECO 50-3-D | FRONIUS TAURO ECO 100-3-D |
|--|--|---------------------------|
| Wi-Fi | Fronius Solar.Web, Modbus TCP SunSpec, Fronius API (JSON) | |
| 2x Ethernet LAN RJ45 | 10/100Mbit; máx. 100m Fronius Solar.Web, Modbus TCP SunSpec, Fronius API (JSON) | |
| USB | 1A @ 5V máx. ¹ | |
| Wired Shutdown (WSD) - Desligamento do sistema | Parada de emergência | |
| 2x RS485 | Modbus RTU SunSpec | |
| 6 entradas digitais / 6 I/Os digitais | Interface programável para receptor de controle de ripple, gerenciamento de energia, controle de carga | |
| Datalogger e Webserver | Integrado | |

1) Somente para fornecimento de energia.

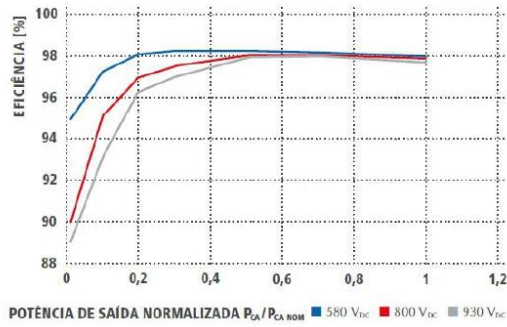
FRONIUS TAURO ECO 50-3-D
CURVA DE EFICIÊNCIA



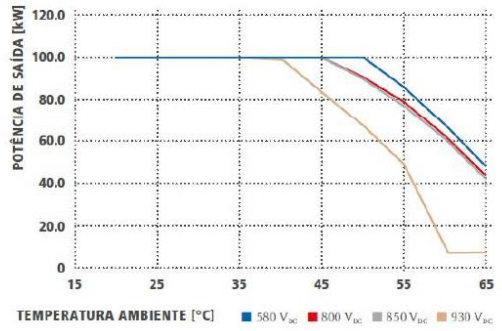
FRONIUS TAURO ECO 50-3-D
DESCCLASSIFICAÇÃO POR TEMPERATURA



FRONIUS TAURO ECO 100-3-D
CURVA DE EFICIÊNCIA



FRONIUS TAURO ECO 100-3-D
DESCCLASSIFICAÇÃO POR TEMPERATURA

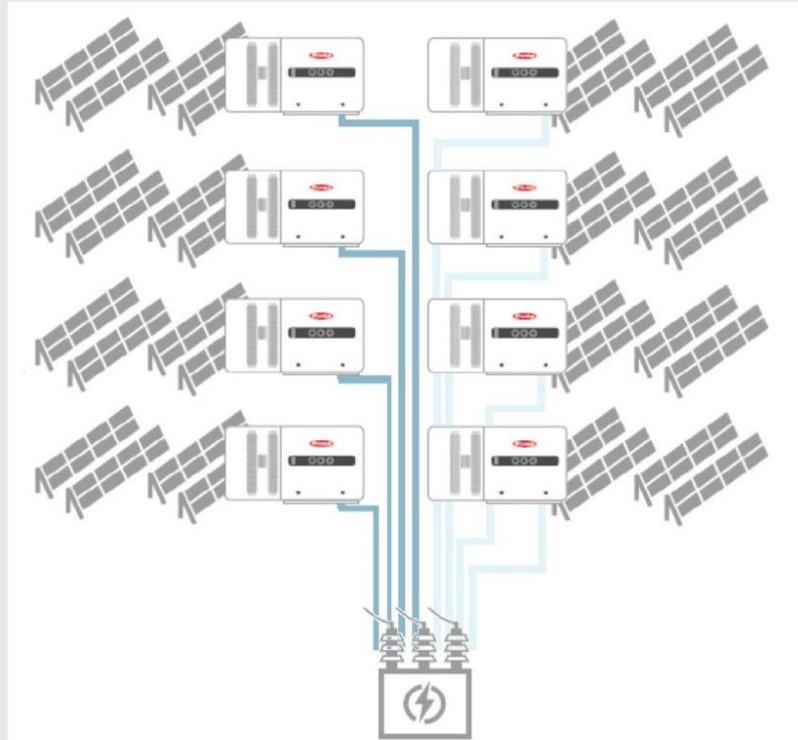


TOPOLOGIA DESCENTRALIZADA

A Versão D do Fronius Tauro, faz menção a Topologia Descentralizada de projetos, onde os inversores fotovoltaicos estão espalhados pela instalação e, localizados muito próximo aos módulos fotovoltaicos.

Desta forma, o inversor permite a conexão direta das strings através de conectores MC4 (Stäubli Multi Contact MC4), contemplando também a proteção das mesmas via fusíveis gPV, além de contar com dispositivos de proteção contra surtos (DPS) no lado CC e no lado CA.

Nesta topologia, a distribuição acontece em sua grande parte em corrente alternada (CA), uma vez que os inversores recebem a corrente contínua (CC) dos módulos fotovoltaicos e, diretamente a converte em CA.



/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

TRÊS UNIDADES DE NEGÓCIOS, UMA PAIXÃO: TECNOLOGIA QUE ESTABELECE PADRÕES.

O que começou, em 1945, como uma microempresa agora estabelece padrões tecnológicos nas áreas de tecnologia de soldagem, fotovoltaica e carregamento de baterias. Hoje atuamos mundialmente com cerca de 5.440 colaboradores e 1.264 patentes concedidas para desenvolvimento de produtos que demonstram o espírito inovador na corporação. Para nós, desenvolvimento sustentável significa implementar aspectos ambientais e sociais com a mesma consideração tida com os fatores econômicos. Em tudo isso, nossa pretensão nunca mudou: ser líder em inovação.

Para obter mais informações sobre todos os produtos Fronius e nossos parceiros de distribuição e representantes, visite www.fronius.com

Fronius do Brasil
Com. Serv. Imp. Ltda
Rua José Martins Fernandes,
601 – Galpões 1, 2 e 3 – Batistini
São Bernardo do Campo – SP
CEP: 09843-400
Brasil
Telefone +55 11 3563-3800
sac@fronius.com
www.fronius.com.br

Fronius International GmbH
Froniusplatz 1
4600 Wels
Austria
Telefone +43 7242 241-0
Fax +43 7242 241-953940
sales@fronius.com
www.fronius.com

O texto e as imagens correspondem ao estado técnico atual no momento da impressão. Reservam-se alterações. Todas as indicações são, apesar de processadas cuidadosamente, sem garantia - responsabilidade excluída. Direito de autor © 2011 Fronius™. Todos os direitos reservados.

PB 103_Apr 2021_M 21